



**TUGAS AKHIR - RE 141581**

**PENGOLAHAN LINDI MENGGUNAKAN *MOVING BED BIOFILM REACTOR* (MBBR) PADA PROSES AEROBIK-ANOKSIK**

**ALJUMRIANAI  
3311100108**

**DOSEN PEMBIMBING  
Welly Herumurti, S.T., M.Sc**

**JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2015**



**FINAL PROJECT - RE 141581**

**LEACHATE TREATMENT USING *MOVING BED  
BIOFILM REACTOR (MBBR)* IN AEROBIC-  
ANOXIC PROCESS**

**ALJUMRIANA  
3311100108**

**SUPERVISOR  
Welly Herumurti, S.T., M.Sc**

**DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING  
Faculty of Civil Engineering and Planning  
Institute of Technology Sepuluh Nopember  
Surabaya 2015**

## LEMBAR PENGESAHAN

### PENGOLAHAN LINDI MENGGUNAKAN *MOVING BED* *BIOFILM REACTOR* (MBBR) PADA PROSES AEROBIK- ANOKSIK

#### TUGAS AKHIR

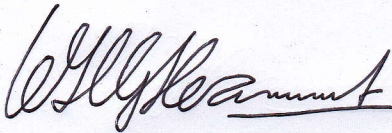
Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Lingkungan  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**ALJUMRIANA**

NRP. 3311 100 108

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :



Welly Herumurti, S.T., M.Sc.  
NIP. 19811223 2006041001



## **Pengolahan Lindi Menggunakan *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) Pada Proses Aerobik-Anoksik**

NamaMahasiswa : Aljumriana  
NRP : 3311 100 108  
Jurusan : TeknikLingkungan  
DosenPembimbing : Welly Herumurti, ST.,M.Sc.

### **ABSTRAK**

Lindi mengandung konsentrasi senyawa organik, ammonia dan nitrat yang tinggi sehingga lindi yang tidak diolah dapat mencemari lingkungan. Pengolahan biologis dengan system *attached growth* seperti *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) dapat digunakan untuk mengolah lindi. Konsentrasi organik dan nitrogen yang tinggi pada lindi dapat diolah dengan mengatur proses aerobik-anoksik di dalam MBBR. Selain itu, seluruh volume reaktor MBBR dimanfaatkan untuk pertumbuhan biomassa dan tidak memerlukan *recycle* lumpur. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kemampuan MBBR dalam mengurangi konsentrasi zat organik dan nitrogen (ammonia dan nitrat) dengan variasi konsentrasi organik lindi, dan variasi durasi proses aerobik-anoksik.

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan dua macam reaktor yaitu reaktor SBR (tanpa media) sebagai reaktor kontrol dan reaktor MBBR (media K1). Kapasitas pengolahan MBBR yang digunakan sebesar 10 L dan media Kaldness (K1) sebanyak 2 L. MBBR dioperasikan dengan sistem *batch*, dengan kondisi aerobik yang berasal dari aerator dan pompa *submersible*, dan kondisi anoksik yang berasal dari pompa *submersible* saja. Variasi konsentrasi COD lindi yang digunakan yaitu 2000 mg/L, 3500 mg/L dan 5000 mg/L, serta variasi durasi proses aerobik-anoksik yaitu 20%-80%, 40%-60%, 60%-40% dan 80%-20%. Waktu yang dibutuhkan di dalam penelitian ini, untuk setiap variasi konsentrasi lindi adalah 15 hari yang terdiri dari lima siklus. Waktu detensi untuk setiap siklus adalah 48 jam dengan tiga kali analisis parameter utama (sebelum-setelah proses

aerobik, dan setelah proses anoksik). Parameter utama di dalam penelitian ini yaitu analisis COD, ammonia dan nitrat, sedangkan parameter tambahan yang digunakan yaitu analisis PV, BOD, pH, salinitas, alkalinitas, MLSS dan MLVSS.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa MBBR dapat digunakan secara optimum untuk mengolah lindi pada konsentrasi COD lindi sebesar 3500 mg/L dengan efisiensi removal zat organik mencapai 92,15% (durasi 60%-40%), ammonia-nitrogen sebesar 76,81% (durasi 80%-20%) dan nitrat-nitrogen sebesar 69,28% (40%-60%). Selain itu, kemampuan mikroorganisme dalam meremoval senyawa organik dan nitrogen juga dipengaruhi oleh konsentrasi organik lindi. Hal ini didukung dengan penurunan nilai rasio F/M dan konsentrasi MLSS yang stabil (berada pada tipikal operasi MBBR).

**Kata kunci: Ammonia, Lindi, *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR), Nitrat, Senyawa Organik.**

## **Leachate Treatment Using *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) in Aerobic-Anoxic Process**

Student Name : Aljumriana  
Student ID : 3311 100 108  
Department : Environmental Engineering  
Supervisor : Welly Herumurti, ST.,M.Sc.

### **ABSTRACT**

Leachate contains a high concentration of organic compound, ammonia-nitrogen and nitrat-nitrogen so untreated leachate can contaminate environment. Biological treatment with attached growth system such as *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) can be used for leachate treatment. A high concentration of organic compound, ammonia-nitrogen and nitrat-nitrogen in leachate can be treated by aerobic-anoxic arrangement in MBBR. Moreover, the whole MBBR tank volume is utilized for biomass growth and without sludge recycle. The aim of this research is to decide the ability of MBBR for decrease organic compound and nitrogen (ammonia and nitrate) concentration using variation of organic concentration, and aerobic-anoxic duration process.

This research was conducted using 2 types reactor, SBR (Sequencing Batch Reactor) as reactor control and MBBR with media Kaldness type 1 (K1). Treatment capacity of MBBR was 10 L and media K1 2 L. MBBR was operated in batch system, aerobic condition derived from aerator and submersible pump, whereas anoxic condition derived from only submersible pump. Variation of leachate COD concentration was 2000 mg/L, 3500 mg/L and 5000 mg/L, and variation of duration aerobic-anoxic process was 20%-80%, 40%-60%, 60%-40% and 80%-20%. The time needed in this research for each leachate concentration was 15 days which consist of 5 cycle. Detention time for each cycle was 48 hours with three times main parameter analysis (before-after aerobic process and after anoxic process). The main parameter in this research was COD, ammonia-nitrogen and nitrate-nitrogen analysis. Meanwhile, additional parameter was PV, BOD, pH, salinity, alkalinity, Mix Liquor Suspended Solid

(MLSS) and Mix Liquor Volatile Suspended Solid (MLVSS) analysis.

Result of this research show that MBBR can be used optimally for leachate treatment in 3500 mg/L COD concentration with removal efficiency of organic compound reached 92,15% (duration 60%-40%), ammonia-nitrogen 76,81% (duration 80%-20%) and nitrate-nitrogen 69,28% (duration 40%-60%). Besides, microorganism ability for organic compound and nitrogen removal was affected by leachate organic concentration. This condition also supported by the decreased of F/M ratio while MLSS concentration was stable (according to MBBR typical operation).

**Keywords:** Ammonia, Leachate, *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR), Nitrate, Organic Compound.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah member ilmu, perlindungan, bimbingan, rahmat, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir dengan judul **“Pengolahan Lindi Menggunakan *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) Pada Proses Aerobik-Anoksik”** dengan baik. Penulis mengucapkan terima kasih pada semua pihak yang telah membantu kelancaran pembuatan laporan tugas akhir ini, yakni:.

1. Bapak Welly Herumurti, S.T., M.Sc., selaku dosen pembimbing tugas akhir, terima kasih atas kesediaan, kesabaran, bantuan, motivasi, waktu dan ilmu yang diberikan selama proses bimbingan.
2. Ibu Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, M.AppSc., Ibu Dr. Ir. Ellina S. Pandebesie, M.T., Ibu Susi Agustina Wilujeng, S.T., M.T., dan Ibu IDAA Warmadewanthi, S.T., M.T., PhD., selaku dosen penguji tugas akhir atas saran dan arahnya untuk perbaikan tugas akhir ini.
3. Bapak Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl. S.E., M.Sc., PhD., selaku Kepala Jurusan Teknik Lingkungan ITS.
4. Bapak Alfian Purnomo, S.T., M.T., selaku dosen wali atas bantuan, nasihat dan bimbingannya selama ini.
5. Kedua Orang tua dan kakak-kakak penulis atas segala pengertian, kesabaran, dukungan dan doanya.
6. Kakak Astriwana atas motivasi, doa dan kesediannya untuk membantu perolehan jurnal-jurnal yang dibutuhkan penulis.
7. A'yun, Putri, Vita, Rasti, Puji, Gia, Tika, Qonita, Etik, Niken, Aizar, Suci, dan teman-teman TL 2011 serta teman-teman lainnya yang telah memberikan bantuan dan semangat.

Penulis menyadari masih terdapat kekurangan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan oleh penulis. Semoga laporan tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca.

Surabaya, Juli 2015  
Penulis



**Halaman ini sengaja dikosongkan**

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
ABSTRAK .....	v
ABSTRACT .....	vii
KATA PENGANTAR .....	ix
DAFTAR ISI .....	xi
DAFTAR TABEL .....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xv
<b>BAB 1 PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan masalah .....	2
1.3. Tujuan Penelitian .....	2
1.4. Manfaat Penelitian .....	2
1.5. Ruang Lingkup Penelitian .....	3
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
2.1 Karakteristik Lindi .....	5
2.2 Degradasi Zat Organik dan Nitrogen Pada Proses Aerobik dan Anoksik .....	10
2.3 <i>Moving Bed Biofilm Reactor</i> (MBBR) .....	11
2.4 Faktor-faktor yang Mempengaruhi <i>Moving Bed Biofilm Reactor</i> (MBBR) .....	14
2.5 Nitrifikasi di dalam <i>Moving Bed Biofilm Reactor</i> (MBBR) .....	15
2.6 Proses yang terjadi di dalam <i>Moving Bed Biofilm Reactor</i> (MBBR) .....	16
2.7 Kemampuan <i>Moving Bed Biofilm Reactor</i> (MBBR) dalam Meremoval COD dan Nitrogen (Ammonia dan Nitrat) ...	17
<b>BAB 3 METODE PENELITIAN .....</b>	<b>23</b>
3.1 Kerangka Penelitian .....	23
3.2 Analisis Karakteristik Awal .....	25
3.3 Persiapan Alat dan Bahan .....	25
3.4 <i>Seeding</i> dan Aklimatisasi .....	25
3.5 Analisis Awal (Penelitian Pendahuluan) .....	26
3.6 Pembuatan Reaktor .....	27
3.7 Pelaksanaan Penelitian .....	28
3.8 Metode Analisis Sampel .....	32
<b>BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>35</b>



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kualitas Lindi Berdasarkan Umur TPA.....	5
Tabel 2.2 Komposisi Konsentrasi Lindi .....	7
Tabel 2.3 Karakteristik Lindi TPA Ngipik Gresik.....	8
Tabel 2.4 Gambaran Variasi Kualitas Lindi dari Beberapa TPA di Indonesia.....	8
Tabel 2.5 Tipikal Kualitas Lindi di Luar Negeri .....	9
Tabel 2.6 Luas Permukaan Spesifik untuk Media <i>Attached Growth</i> .....	12
Tabel 2.7 Tipikal Parameter Desain Proses MBBR . .....	14
Tabel 2.8 Tipikal Parameter Operasi MBBR . .....	14
Tabel 2.9 Penelitian Terkait MBBR . .....	21
Tabel 3.1 Variasi Durasi Proses Aerobik-Anoksik. ....	29
Tabel 3.2 Faktorial Penelitian.....	30
Tabel 4.1 Hasil Analisis Karakteristik Awal Lindi dan Lumpur ...	36
Tabel 4.2 Hasil Removal COD <i>Seeding</i> dan Aklimatisasi. ....	36
Tabel 4.3 Efisiensi Removal Total Nitrogen berupa $\text{NH}_3\text{-N}$ dan $\text{NO}_3\text{-N}$ (%) .....	49
Tabel 4.4 <i>Mass Balance</i> Removal Total Nitrogen berupa $\text{NH}_3\text{-N}$ dan $\text{NO}_3\text{-N}$ (gram/hari) . .....	49
Tabel 4.5 Efisiensi Removal Ammonia-Nitrogen (%) . .....	55
Tabel 4.6 <i>Mass Balance</i> Removal Ammonia-Nitrogen (gram/hari) .....	55
Tabel 4.7 Efisiensi Removal Nitrat-Nitrogen (%) . .....	59
Tabel 4.8 <i>Mass Balance</i> Removal Nitrat-Nitrogen (gram/hari) ..	59
Tabel 4.9 Hasil Uji ANOVA dengan Program SPSS 16 . .....	76
Tabel 4.10 Hasil Uji Tukey Konsentrasi COD Lindi dengan Program SPSS 16.....	79

**Halaman ini sengaja dikosongkan**

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 (a) Kondisi Aerobik, pada MBBR,(b) Kondisi Anoksik pada MBBR.....	13
Gambar 2.2 Media Biofilm Kaldness 1 (K1) .....	13
Gambar 3.1 Kerangka Penelitian .....	23
Gambar 3.2 <i>Settleability Solid Test</i> .....	27
Gambar 3.3 Media Tipe Kaldness (K1) .....	27
Gambar 3.4 (a) Reaktor Uji MBBR, (b) Reaktor Kontrol SBR.....	28
Gambar 3.5 Ilustrasi Variasi Durasi Proses Aerobik-Anoksik ....	31
Gambar 3.6 Ilustrasi Analisis MBBR .....	32
Gambar 4.1 <i>Settleability Solid Test</i> (a) Awal, (b) Akhir .....	37
Gambar 4.2 Reaktor MBBR dan SBR .....	38
Gambar 4.3 Efisiensi Removal COD Setiap Variasi Konsentrasi	40
Gambar 4.4 Efisiensi Removal COD Kondisi Aerobik pada Konsentrasi COD Lindi 2000 mg/L .....	41
Gambar 4.5 Efisiensi Removal COD Kondisi Aerobik pada Konsentrasi COD Lindi 3500 mg/L .....	41
Gambar 4.6 Efisiensi Removal COD Kondisi Aerobik pada Konsentrasi COD Lindi 5000 mg/L .....	42
Gambar 4.7 Efisiensi Removal COD Kondisi Anoksik pada Konsentrasi COD Lindi 2000 mg/L .....	43
Gambar 4.8 Efisiensi Removal COD Kondisi Anoksik pada Konsentrasi COD Lindi 3500 mg/L .....	44
Gambar 4.9 Efisiensi Removal COD Kondisi Anoksik pada Konsentrasi COD Lindi 5000 mg/L .....	44
Gambar 4.10 Mass Balance Removal Total Nitrogen (NH <sub>3</sub> -N dan NO <sub>3</sub> -N) pada Konsentrasi COD Lindi 2000 mg/L..	50
Gambar 4.11 Mass Balance Removal Ammonia-Nitrogen pada Konsentrasi COD Lindi 2000 mg/L .....	56
Gambar 4.12 Mass Balance Removal Nitrat-Nitrogen pada Konsentrasi COD Lindi 2000 mg/L .....	60
Gambar 4.13 Konsentrasi MLSS pada Kondisi Aerobik .....	61
Gambar 4.14 Konsentrasi MLSS pada Kondisi Anoksik .....	62
Gambar 4.15 Efisiensi Removal BOD .....	66
Gambar 4.16 Efisiensi Removal COD .....	68
Gambar 4.17 Rasio BOD/COD .....	69
Gambar 4.18 Rasio F/M .....	71
Gambar 4.19 Nilai Salinitas .....	72

Gambar 4.20 Nilai pH .....	74
Gambar 4.21 Nilai Alkalinitas (Konsentrasi $\text{CaCO}_3$ ).....	75
Gambar 4.22 Skema Perbandingan Konsentrasi COD Lindi .....	79

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Lindi mengandung konsentrasi kontaminan organik atau anorganik yang tinggi. Lindi yang tidak diolah dapat masuk ke dalam air tanah atau ikut terbawa ke dalam aliran permukaan (Hadiwidodo *et al.*, 2012) sehingga dapat mencemari lingkungan (Susanto *et al.*, 2004). Salah satu penanganan lindi yang telah terbukti efisien adalah dengan menggunakan pengolahan biologis. Pengolahan biologis secara aerobik-anoksik telah diaplikasikan untuk menghilangkan bahan organik dan nitrogen (Romli *et al.*, 2004) dengan memanfaatkan proses biofilm (Hem *et al.*, 1993). Salah satu unit pengolahan biologis yang memanfaatkan biofilm yaitu dengan sistem *attached growth* (mikroorganisme yang tumbuh pada media) seperti *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR). *Moving Bed Biofilm Reactor* diadopsi dari proses terbaik yang terjadi pada *activated sludge* dan biofilter karena MBBR menggunakan seluruh volume reaktor untuk pertumbuhan biomassa dan tidak memerlukan *recycle* lumpur (Igarashi *et al.*, 1999). Berdasarkan hasil penelitian juga membuktikan bahwa MBBR memiliki banyak kelebihan dalam mengolah biomassa yang tinggi, beban COD yang tinggi (4,08 Kg/m<sup>3</sup>hari), *shock loading*, memiliki reaktor dengan ukuran yang relatif lebih kecil dan tidak memiliki masalah *sludge bulking* (Chen *et al.*, 2008).

Salah satu kelebihan sistem *attached growth* dengan MBBR yaitu berpotensi dalam mengolah organik (Dong *et al.*, 2011) dengan efisiensi removal konsentrasi COD pada lindi mencapai 91% (Chen *et al.*, 2008). Selain itu, MBBR juga memanfaatkan proses aerobik-anoksik yang berpotensi dalam mengolah nitrogen melalui nitrifikasi dan denitrifikasi yang terjadi di dalam MBBR (Zhuang *et al.*, 2011). Efisiensi removal nitrogen pada lindi dalam bentuk ammonia dan nitrat melalui proses aerobik-anoksik yaitu mencapai 80% (Miao *et al.*, 2014). Namun, pengaruh adanya variasi konsentrasi organik dalam bentuk COD (*Chemical Organic*



*Demand*) pada lindi yang dapat diolah oleh MBBR dan pengaruh durasi proses aerobik-anoksik yang paling efektif di dalam pengolahan lindi dengan MBBR belum diketahui.

Oleh karena itu, diperlukan penelitian mengenai pengolahan lindi secara biologis (*attached growth*) menggunakan MBBR dengan sumber mikroorganisme yang berasal dari lumpur IPLT. MBBR dioperasikan dengan menggunakan proses aerobik-anoksik. Hal ini dilakukan untuk menentukan kemampuan MBBR dalam meremoval senyawa organik yang terkandung pada lindi dengan variasi konsentrasi organik dalam bentuk COD dan variasi durasi proses aerobik-anoksik yang paling efektif.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Bagaimana kemampuan MBBR dalam mengurangi konsentrasi organik, ammonia, dan nitrat?
2. Bagaimana pengaruh variasi konsentrasi organik pada pengolahan lindi dengan MBBR?
3. Bagaimana pengaruh durasi proses aerobik-anoksik yang paling efektif di MBBR dalam mengurangi konsentrasi organik, ammonia, dan nitrat pada lindi?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Menentukan kemampuan MBBR dalam mengurangi konsentrasi organik, ammonia dan nitrat.
2. Menentukan pengaruh variasi konsentrasi organik pada pengolahan lindi dengan MBBR.
3. Menentukan pengaruh durasi proses aerobik-anoksik yang terjadi di MBBR dalam mengurangi konsentrasi organik, ammonia, dan nitrat pada lindi.

## **1.4 Manfaat Penelitian**

Penelitian ini dapat memberikan alternatif untuk penggunaan teknologi pengolahan lindi melalui pengolahan biologis (*attached*

*growth*) berupa *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR). Penelitian ini juga diharapkan dapat memberikan informasi secara ilmiah mengenai *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) pada proses aerobik-anoksik dalam menurunkan konsentrasi organik dan nitrogen ( $\text{NH}_3\text{-N}$  dan  $\text{NO}_3\text{-N}$ ) yang terdapat pada lindi.

## 1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian ini adalah:

1. Sampel yang digunakan yaitu lindi TPA Ngipik Gresik yang berasal dari *Anaerobic Pond*.
2. Lumpur yang digunakan yaitu lumpur IPLT Keputih yang berasal dari RAS (*Return Activated Sludge*) Unit Clarifier.
3. Reaktor ini dioperasikan dengan sistem *batch*.
4. Parameter utama yang digunakan adalah COD, ammonia ( $\text{NH}_3\text{-N}$ ) dan nitrat ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ), dan parameter tambahan yang digunakan adalah pH, BOD, salinitas, alkalinitas dan MLSS.
5. Media yang digunakan adalah media Kaldness tipe 1 (K1).
6. Reaktor kontrol yang digunakan berupa reaktor SBR.

**Halaman ini sengaja dikosongkan**

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Karakteristik Lindi**

Menurut Hadiwidodo *et al.* (2012), lindi merupakan air yang terbentuk dalam timbunan sampah yang dapat melarutkan banyak senyawa yang ada sehingga memiliki kandungan pencemar, khususnya kandungan zat organik yang sangat tinggi. Lindi mengandung berbagai turunan senyawa kimia dari pelarutan sampah pada lahan urug serta hasil reaksi kimia dan biokimia yang terjadi pada lahan urug. Apabila penanganan dan pengolahan lindi tidak dilakukan secara optimum, lindi ini akan masuk ke dalam air tanah ataupun ikut terbawa dalam aliran permukaan. Selain itu, lindi dari TPA merupakan bahan pencemar yang dapat mengganggu kesehatan manusia dan mencemari lingkungan, karena di dalam lindi tersebut terdapat berbagai senyawa kimia organik maupun anorganik, sejumlah bakteri patogen, ammonium, timbal dan mikroba parasit (Susanto *et al.*, 2004). Sebagai hasil proses dekomposisi organik, lindi mengandung banyak zat organik dan anorganik dengan konsentrasi yang tinggi. Kualitas lindi dapat dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti berikut:

1. Komposisi material sampah padat
2. Musim
3. Temperatur dan kelembaban
4. Teknis operasional pengelolaan lindi
5. Umur timbunan atau umur TPA (Tabel 2.1)

(Riansyah dan Wesen, 2010)

**Tabel 2.1 Kualitas Lindi Berdasarkan Umur TPA**

Parameter (mg/L)	Umur TPA		
	1 Tahun	5 Tahun	16 Tahun
BOD	7500-28000	4000	80
COD	20000-40000	8000	400
pH	5,2-6,4	6,3	-

Parameter (mg/L)	Umur TPA		
	1 Tahun	5 Tahun	16 Tahun
TDS	79-100	-	-
DHL	600-9000	-	-
Alkalinitas ( $\text{CaCO}_3$ )	800-4000	5810	2250
Hardness ( $\text{CaCO}_3$ )	3500-5000	2200	540
Total P	25-35	12	8
Ortho P	23-33	-	-
$\text{NH}_4\text{-N}$	56-482	-	-
Nitrat	0,2-0,8	0,5	1,6
Kalsium	900-11700	308	109
Khlorida	600-800	1330	70
Sodium	450-500	810	34
Potasium	295-310	610	39
Sulfat	400-650	2	2
Mangan	75-125	0,06	0,06
Magnesium	160-250	450	90
Besi	210-325	6,3	0,6
Seng	10-30	0,4	0,1
Tembaga	-	< 0,5	< 0,5
Kadmium	-	< 0,05	< 0,05
Timbal	-	0,5	1

Sumber: Purwanta, 2007

Menurut Romli *et al.* (2004), fase awal proses degradasi sampah di lahan pembuangan sampah yaitu menghasilkan air lindi yang mengandung bahan organik, ammonium, sulfat, dan klorida dalam konsentrasi tinggi. Bahkan, air lindi juga kemungkinan memiliki kandungan logam yang tinggi dan beberapa senyawa kimia organik yang berbahaya. Parameter untuk karakteristik lindi meliputi parameter pH, warna, kekeruhan, TSS (*Total Suspended Solid*), VSS (*Volatile Suspended Solid*), COD (*Chemical Oxygen Demand*), BOD<sub>5</sub> (*Biochemical Oxygen Demand*), TKN (*Total*

*Kjeldahl Nitrogen*),  $\text{NH}_3\text{-N}$  (ammonia-nitrogen),  $\text{NO}_3\text{-N}$  (nitrat-nitrogen),  $\text{NO}_2\text{-N}$  (nitrit-nitrogen),  $\text{PO}_4^-$  (fosfat), fenol, dan logam (Zn, Cu, Mn, Cr, Pb dan Fe). Secara umum komponen (unsur-unsur) kimia yang terkandung di dalam lindi dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Komposisi Konsentrasi Lindi

No	Komponen	Kadar (ppm)	
		Rendah	Tinggi
1	pH	6	6,5
2	Kesadahan $\text{CaCO}_3$	890	7600
3	Alkalinitas $\text{CaCO}_3$	730	9500
4	Ca	240	2330
5	Mg	64	410
6	Na	85	1700
7	Fe Total	8,7	220
8	Besi ferro	6,5	87
9	Klorida	96	2350
10	Sulfat	84	730
11	Phosphate	0,3	29
12	Organik N	2,4	465
13	$\text{NH}_4\text{-N}$	0,22	480
14	BOD	2170	3030

Sumber: Purwanta, 2007

Pada penelitian ini sampel lindi yang digunakan adalah lindi TPA Ngipik Gresik yang berasal dari kolam *anaerobic pond* karena lindi tersebut sudah terkondisikan dalam keadaan yang fakultatif atau anoksik. Berdasarkan penelitian sebelumnya yang juga menggunakan lindi TPA Ngipik Gresik, bahwa hasil analisis karakteristik lindi di TPA Ngipik Gresik dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Karakteristik Lindi TPA Ngipik Gresik

Parameter	Satuan	Nilai
pH	-	7,37
Salinitas	ppt	6,07
BOD	mg/L	1109,7
COD	mg/L	2462

Sumber: Putri, 2014

Menurut Damanhuri (2008), berdasarkan beberapa rekapitulasi hasil dari pemantauan kualitas lindi di beberapa TPA di Indonesia dapat dilihat pada Tabel 2.4. Kesimpulan dari hasil analisis lindi tersebut yaitu bahwa kekhasan lindi di Indonesia adalah cenderung bersifat tidak asam dan mempunyai nilai COD yang tinggi sehingga penanganan lindi merupakan suatu keharusan bila akan dilepas ke lingkungan.

Tabel 2.4 Gambaran Variasi Kualitas Lindi dari Beberapa TPA di Indonesia

Kota/TPA	pH	COD	NH <sub>4</sub> -N	N-NO <sub>2</sub>	DHL
Bogor	7,5	28723	770	0	40480
	8	4303	649	0,075	24085
Cirebon	7	3648	395	0,225	10293
	7	13575	203	0,375	12480
Jakarta	7,5	6839	799	0	13680
	7	413	240	0,075	3823
	8	1109	621	0,35	1073
Bandung (Leuwigajah)	6	58661	1356	6,1	26918
	7	7379	738	2,775	20070
Yogyakarta	6	6166	162	0,225	3540
Surabaya	8,03	24770	155	0,077	6030

Sumber: Damanhuri, 2008

Kualitas lindi di luar negeri yang tercantum dalam Tabel 2.5 dapat menunjukkan bahwa lindi mempunyai karakteristik yang khas yaitu:

- Lindi dari *landfill* yang muda bersifat asam, memiliki kandungan organik yang tinggi dan mempunyai ion-ion terlarut yang juga tinggi.
- Lindi dari *landfill* yang sudah tua, pH sudah mendekati netral, mempunyai kandungan organik dan mineral yang relatif menurun.
- Lindi *landfill* sampah kota yang berumur lebih dari 10 tahun pun ternyata mempunyai konsentrasi BOD dan COD yang tetap relatif tinggi.

Tabel 2.5 Tipikal Kualitas Lindi di Luar Negeri

Parameter (mg/L)	Landfill umur < 2 tahun (Rentang)	Tipikal	Landfill umur > 10 tahun (Rentang)
BOD	2000-5000	20000	100-200
COD	5000-6000	18000	100-500
pH	4,5-7,5	6	6,6-7,5
SS	200-2000	500	100-400
N-NH <sub>3</sub>	10-800	200	20-40
N-NO <sub>3</sub>	5-40	25	5-10
P-Total	5-100	30	5-10
Alkalinitas	2000-20000	5000	200-2000
Sulfat	50-100	300	20-50
Kalsium	200-5000	2000	100-400
Magnesium	50-1500	250	50-200
Klorida	200-3500	500	100-400
Natrium	200-3500	500	100-200
Besi Total	50-1200	60	20-200

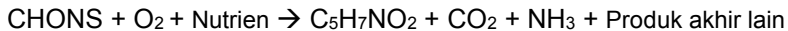
Sumber: Damanhuri, 2008



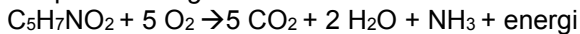
## 2.2 Degradasi Zat Organik dan Nitrogen Pada Proses Aerobik dan Anoksik

Pada proses oksidasi aerobik, konversi dari senyawa organik diperoleh dari campuran bakteri disesuaikan dengan stokiometri yang ditunjukkan pada reaksi seperti berikut:

Oksidasi dan sintesis:



Respirasi *Endogenous*:



CHON digunakan untuk merepresentasikan senyawa organik di dalam air limbah, yang menjadi donor elektron ketika oksigen menjadi aseptor elektron. Sedangkan reaksi respirasi *endogenous* menunjukkan hasil yang produk akhir yang relatif sederhana dan energi, dan produk akhir organik yang stabil juga terbentuk.

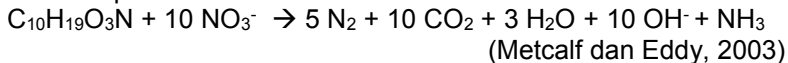
Pada proses removal nitrogen di dalam pengolahan biologis, donor elektron biasanya berasal satu dari 3 sumber berikut, yaitu:

(1) CODbs di dalam air limbah.

(2) diproduksi CODbs selama proses *endogenous decay*.

(3) proses *exogenous* seperti metanol dan asetat.

$\text{C}_{10}\text{H}_{19}\text{O}_3\text{N}$  sering digunakan untuk memrepresentasikan senyawa organik *biodegradable* di dalam air limbah, dengan reaksi seperti berikut:



Salah satu kandungan lindi adalah protein. Protein dapat didegradasi menjadi peptida dengan bantuan enzim eksoenzim protease. Selanjutnya didegradasi kembali menjadi asam amino dengan bantuan enzim peptidase. Setelah itu dilakukan 2 tahap pelepasan gugus amina dari asam amino, yaitu:

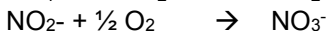
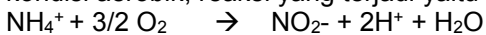
### 1. Transaminasi

Gugus amin dipindahkan menggunakan enzim aminotransferase ke  $\alpha$ -ketoglutarat sehingga menghasilkan glutamat.

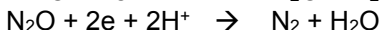
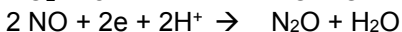
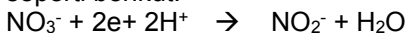
### 2. Deaminasi oksidatif

Pelepasan gugus amin dari glutamat akan menghasilkan ion ammonium.

Selanjutnya terjadi proses nitrifikasi dengan memanfaatkan bakteri *Nitrosococcus* atau *Nitrosomonas* dan *Nitrobacter* pada kondisi aerobik, reaksi yang terjadi yaitu seperti berikut:



Proses denitrifikasi terjadi dengan memanfaatkan bakteri *Pseudomonas denitrificant* pada kondisi anoksik, dengan reaksi seperti berikut:



(Trihadiningrum, 2012)

## 2.3 Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR)

*Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) merupakan salah satu sistem pengolahan biologis yang menggunakan media plastik untuk menyediakan tempat hidup koloni mikroorganisme yang tumbuh menjadi biofilm. Reaktor ini dioperasikan pada kondisi aerobik untuk menurunkan kadar organik dan nitrifikasi, sedangkan pada kondisi anoksik untuk denitrifikasi. Selama beroperasi, media dijaga dalam sirkulasi yang tetap. Pada kondisi aerobik, sirkulasi diciptakan dengan menginjeksikan gelembung udara ke dalam reaktor melalui sistem difusi gelembung dan pada kondisi anoksik biasanya diciptakan dengan menggunakan pengaduk yang terendam di dalam reaktor. Media yang diisi dapat mencapai 70% dari volume total reaktor. Namun, dari hasil penelitian yang pernah ada menunjukkan bahwa efisiensi pengadukan akan menurun jika persentase pengisian jumlah

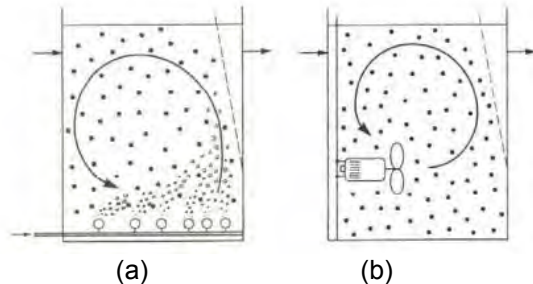
media dinaikkan. Keutamaan MBBR adalah proses *attached growth* (mikroorganisme melekat pada media), sehingga kapasitas pengolahan adalah sebuah fungsi dari luas permukaan spesifik reaktor. Luas permukaan spesifik reaktor dihitung dengan membagi luas permukaan media yang ditumbuhi biofilm dan volume reaktor. Setiap media memiliki karakteristik luas permukaan spesifik yang berbeda-beda. Luas permukaan spesifik media merefleksikan jumlah luas permukaan yang tersedia untuk pertumbuhan biofilm per-unit volume media. Daftar luas permukaan spesifik untuk tiga tipe media berbeda untuk MBBR, dapat dilihat pada Tabel 2.6 (Metcalf dan Eddy, 2003).

Tabel 2.6 Luas Permukaan Spesifik untuk Media *Attached Growth*

Media MBBR	Luas Permukaan Spesifik ( $\text{m}^2/\text{m}^3$ )
Kaldnes K-1 Media	500
Hydroxyl Media	400
Kaldnes Flat Chip	1200

Sumber: Metcalf dan Eddy, 2003

Ide pengembangan proses *Moving Bed Biofilm* adalah untuk mengadopsi proses yang terbaik dari proses *activated sludge* dan proses biofilter. Tidak seperti kebanyakan reaktor biofilm lainnya, MBBR menggunakan seluruh volume reaktor untuk pertumbuhan biomassa dan tidak memerlukan *recycle* lumpur. Hal ini dapat dilakukan dengan menumbuhkan biomassa pada media yang bergerak bebas dalam reaktor, dimana reaktor dilengkapi dengan sekat berlubang untuk mencegah media keluar melalui outlet. Akibat tidak adanya tempat untuk resirkulasi lumpur, hanya biomassa berlebih yang harus dipisahkan sehingga lebih menguntungkan dibandingkan dengan *activated sludge* dan biofilter (Igarashi *et al.*, 1999). MBBR ini dapat digunakan untuk kondisi aerobik dan anoksik seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 (a) Kondisi Aerobik pada MBBR, (b) Kondisi Anoksik pada MBBR

Sumber: Igarashi *et al.*, 1999

Pada proses aerobik, pergerakan media biofilm disebabkan pengadukan oleh udara, sedangkan pada proses anoksik digunakan pengaduk untuk menggerakkan media. Pada reaktor aerobik digunakan sistem aerasi dengan *coarse bubble*. Media dijaga di dalam reaktor aerobik dengan menggunakan sekat berlubang pada *outletnya*. Biasanya MBBR didesain secara vertikal, sekat berlubang dengan bentuk segi empat, tetapi terkadang berupa batang silinder, baik horizontal maupun vertikal. Media biofilm (K1) terbuat dari HDPE (*High Density Polyethylene*) dengan densitas  $0,95 \text{ g/cm}^3$  dan berbentuk seperti silinder kecil dengan bentuk tambah (+) di dalamnya dan bergerigi di bagian luar (Gambar 2.2). Tebal silinder sebesar 7 mm dan berdiameter 10 mm (tidak termasuk bagian gerigi) (Igarashi *et al.*, 1999).



Gambar 2.2 Media Biofilm Kaldness 1(K1)

Sumber: Igarashi *et al.*, 1999

## 2.4 Faktor-faktor yang Mempengaruhi *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR)

Faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) diantaranya adalah waktu detensi anoksik, waktu detensi aerobik, luas permukaan biofilm, beban BOD, dan konsentrasi MLSS (*Mixed Liquor Suspended Solid*). Adapun nilai faktor tersebut dapat dilihat pada tipikal parameter desain proses MBBR (Tabel 2.7) dan tipikal parameter operasi MBBR (Tabel 2.8) (Metcalf dan Eddy, 2003). MBBR dianggap beroperasi dengan baik jika faktor-faktor yang disebutkan di atas memiliki nilai yang termasuk di dalam rentang tipikalnya. Pada penelitian ini konsentrasi organik yang digunakan dalam bentuk COD. Hal ini dikarenakan proses aerobik-anoksik yang terjadi di dalam MBBR difokuskan untuk mengurangi konsentrasi COD. Akan tetapi, untuk memastikan bahwa MBBR dapat beroperasi dengan baik maka parameter BOD tetap diperhatikan. Selain itu, parameter BOD juga digunakan untuk menganalisis tingkat biodegradasi lindi.

Tabel 2.7 Tipikal Parameter Desain Proses MBBR

Parameter	Satuan	Rentang Nilai
Waktu detensi anoksik	Jam	1-1,2
Waktu detensi aerobik	Jam	3,5-4,5
Luas permukaan biofilm	m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	200-250
Beban BOD	kg/m <sup>3</sup> .hari	1-1,4

Sumber: Metcalf dan Eddy, 2003

Tabel 2.8 Tipikal Parameter Operasi MBBR

Parameter	Satuan	Rentang Nilai
Luas permukaan biofilm	m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	300-350
Beban BOD	kg/m <sup>3</sup> .hari	4-7
Konsentrasi MLSS	mg/L	3500-4500

Sumber: Metcalf dan Eddy, 2003

## 2.5 Nitrifikasi di dalam *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR)

MBBR digunakan untuk mengetahui proses nitrifikasi, dimana pada penelitian terdahulu dilakukan pengujian sampel yang merupakan campuran ammonium, larutan buffer bikarbonat dan dihidrogenfosfat, air keran dan elemen yang dapat menunjukkan rangsangan dari *Nitrosomonas* dan/atau *Nitrobacter* maupun sampel hasil efluen dari *secondary treatment*. Sampel ini digunakan untuk menguji pengaruh konsentrasi oksigen pada nitrifikasi, suhu, konsentrasi ammonium dan beban organik yang terjadi di dalam *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) skala laboratorium. Volume reaktor sebesar 20 L, dimana media diisi sebanyak 2/3 dari volume reaktor. Media yang digunakan adalah media yang terbuat dari PE (*Polyethylene*) dengan densitas lebih kecil dari densitas air, luas permukaan  $300 \text{ m}^2/\text{m}^3$ , diameter 9,9 mm, panjang 8,1 mm, dan ketebalan dinding 0,66 mm. Sirkulasi di dalam reaktor terjadi akibat pengaduk mekanis (dimana telah dilakukan percobaan awal sebelum disirkulasi, untuk menentukan aerasi atau pengaduk mekanis yang cocok digunakan pada reaktor ini sehingga menciptakan sirkulasi). *Start up* reaktor ini selama dua minggu.

Penelitian ini dilakukan pada skala laboratorium dengan hasil penelitian yang menyatakan bahwa ketika alkalinitas meningkat dan beban organik tetap, maka baik ammonium maupun konsentrasi oksigen akan dibatasi untuk laju nitrifikasi. Perubahan dari ammonium menjadi konsentrasi oksigen terbatas terjadi untuk oksigen ke rasio konsentrasi ammonium sebesar  $3 \text{ g O}_2/(\text{g NH}_4\text{-N})^{-1}$ . Konsentrasi oksigen yang dibatasi mempunyai pengaruh yang baik pada laju nitrifikasi. Ketika laju nitrifikasi mendekati fungsi orde satu dari konsentrasi oksigen, maka menunjukkan lapisan difusi menjadi laju penting yang membatasi mekanismenya. Laju nitrifikasi menurun apabila beban organik meningkat. Ketika beban organik melebihi  $5 \text{ g total BOD}_7 \text{ m}^2/\text{hari}$ , nitrifikasi menjadi tidak berarti. Hasil yang diperoleh dari pengoperasian *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) ini juga menyatakan bahwa MBBR cocok untuk tujuan nitrifikasi dengan memberi nutrisi pada efluen *secondarynya* dan menginjeksikan

konsentrasi oksigen sebesar 4,5-5 g O<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>,serta laju *nitrification rate* sebesar 0,8 NO<sub>x</sub>-N/m<sup>2</sup>hari (Hem *et al.*, 1993).

## **2.6 Proses yang terjadi di dalam *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR)**

*Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) dioperasikan dengan sistem *batch* sehingga tahapan yang terjadi di dalam reaktor meliputi tahap pengisian, tahap aerasi dan tahap pengendapan yang terjadi dalam reaktor yang sama. Tidak ada lumpur yang hilang di dalam tahap pemberian reaksi (*react*) dan tidak ada sirkulasi. Reaktor dengan sistem *batch* ini memiliki lima tahap umum, dengan urutan seperti berikut:

1. *Fill* (Pengisian)  
Selama pengisian, volume dan organik (air baku air limbah atau efluen dari *primary*) ditambahkan ke dalam reaktor. Tipikal proses pengisian mengikuti level air dalam reaktor untuk mencapai 75% dari kapasitas (pada akhir tahap didiamkan) hingga mencapai 100% dari kapasitas.
2. *React* (Pemberian reaksi)  
Selama tahap pemberian reaksi, biomassa mengkonsumsi organik dengan kendali kondisi lingkungan.
3. *Settle* (Pengendapan)  
Padatan dibiarkan untuk berpisah dari zat cairnya dengan kondisi yang tenang (diam), hasilnya dalam supernatan yang jernih dapat dikeluarkan sebagai efluen.
4. *Decant* (Penuangan)  
Efluen yang jernih di hilangkan selama tahap penuangan. Banyak jenis dari mekanisme penuangan yang dapat digunakan, dengan mekanisme yang paling terkenal yaitu melalui *floating* (mengapung) atau disesuaikan dengan limbahnya (*weir*).
5. *Idle* (Didiamkan)  
Pada tahap didiamkan, digunakan dalam sistem *multitank* untuk menyediakan waktu untuk satu reaktor menyelesaikan fase pengisiannya sebelum ditukar dengan unit yang lain. Biasanya tahap ini tidak digunakan

karena pada tahap ini tidak ada fase peningkatan apapun.

(Metcalf dan Eddy, 2003)

## **2.7 Kemampuan *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) dalam Meremoval COD dan Nitrogen (Ammonia dan Nitrat)**

Menurut Chen *et al.* (2008), MBBR dengan proses aerobik-anaerobik dimanfaatkan dalam pengolahan lindi untuk menurunkan konsentrasi COD dan ammonium. Proses anaerobik merupakan proses utama yang dibutuhkan untuk meremoval COD dan proses aerobik pada MBBR berfungsi sebagai salah satu langkah untuk meremoval ammonium. Proses anaerobik di dalam MBBR mampu meremoval total COD dengan efisiensi hingga 91% dengan *Organic Loading Rate* (OLR) 4,08 kgCOD/m<sup>3</sup>hari, dan secara bertahap menurun menjadi 86% ketika OLR meningkat menjadi 15,7 kgCOD/m<sup>3</sup>hari. Akibat fungsi yang saling melengkapi dari reaktor aerobik, maka efisiensi total COD pada sistem sedikit menurun dari 94% menjadi 92%, bahkan meskipun OLR nya meningkat dari 4,08 menjadi 15,7 kgCOD/m<sup>3</sup>hari. *Hydraulic Retention Time* (HRT) memiliki efek signifikan pada removal ammonium, dimana efisiensi removal ammonium dapat mencapai 97% ketika HRT proses aerobik di dalam MBBR lebih dari 1,25 hari. Proses aerobik-anaerobik memiliki toleransi yang sangat baik untuk kondisi *shocking loading*. Penurunan efisiensi removal COD hanya sekitar 7% ketika OLR nya meningkat dan durasi *shock* selama 24 jam, dan efisiensi sistem ini dapat kembali seperti semula dalam waktu 3 hari. Rata-rata *sludge yield* pada proses anaerobik diestimasikan menjadi 0,0538 gVSS/gCODrem.

Menurut Miao *et al.* (2014), salah satu modifikasi SBR (*Sequence Batch Reactor*) yaitu dengan mengaplikasikan sistem *fluidize* pada proses aerobik-anoksik sehingga menyerupai proses yang ada pada MBBR. Tahapan yang ada pada reaktor ini yaitu: *filling* (pengisian)-*react* (pemberian reaksi terdiri dari proses aerobik-anoksik)-*settle* (pengendapan)-*decant* (penuangan). Sampel yang digunakan pada penelitian ini adalah lindi. Proses aerobik terjadi



dengan menggunakan aerator sedangkan proses anoksik terjadi dengan memanfaatkan pengadukan dari pengaduk mekanis. Sistem aerobik-anoksik terbukti lebih efektif dalam meremoval ammonia dan nitrat. Reaktor dengan sistem ini memiliki dua keuntungan yaitu tidak menghasilkan konsentrasi nitrat yang tinggi dan alkalinitas yang diproduksi mampu menetralkan asam pada influen, dengan memproduksi pH yg cocok. Selain itu, dengan proses aerobik-anoksik mampu mencapai efisiensi removal ammonia dan nitrat lebih dari 80%.

Menurut Dong *et al.* (2011), media yang digunakan pada MBBR ini adalah media *suspended ceramic* dengan densitas seperti densitas air dan memiliki porositas yang tinggi. Sampel yang digunakan adalah air limbah yang mengandung minyak. HRT yang digunakan yaitu 10 hingga 36 jam. Hasil setelah pengamatan selama 190 hari menunjukkan efisiensi removal COD mencapai 73% dan efisiensi removal nitrat mencapai 85%.

Menurut Zuang *et al.* (2014), pengolahan air limbah hasil gasifikasi batu bara menggunakan MBBR dengan proses anoksik-*Biological Aerated Filter* (BAF) menunjukkan bahwa sistem ini mempunyai kapasitas degradasi polutan yang efisien, khususnya pada removal nitrogen. Anoksik MBBR-BAF ini memiliki kemampuan removal ammonium yang baik, khususnya dengan konsentrasi beban toksik yang tinggi. Pengolahan ini memiliki efisiensi removal COD sebesar 75% dan efisiensi removal ammonium mencapai 85%.

Menurut Qaderi *et al.* (2011), air limbah yang mengandung formaldehid akan bersifat toksik pada mikroorganisme maka untuk mengolah limbah tersebut dapat dilakukan dengan pengolahan kimiawi maupun proses biologis (anaerobik). Pada penelitian ini digunakan proses biologis berupa MBBR. Selama pengamatan ini, efisiensi MBBR yang diperoleh tergolong cukup tinggi. Berdasarkan hasil penelitian, efisiensi removal yang paling baik dicapai ketika konsentrasi formaldehid dalam bentuk COD sebesar 200 mg/L yaitu 93%. Sistem ini juga dapat mengolah konsentrasi formaldehid yang lebih tinggi hingga 2500 mg/L.

Menurut Bassin *et al.* (2011), nitrifikasi pada air limbah yang mengandung garam diolah menggunakan MBBR. HRT yang dibutuhkan yaitu selama 48 jam dengan *start up* selama 15 hari. Reaktor ini menggunakan media Kaldness tipe 3 (K3) sebanyak 40% dari total volume reaktor. Rata-rata efisiensi removal ammonia pada reaktor ini sebesar 60%.

Menurut Chu *et al.* (2011), air limbah buatan dapat diolah dengan MBBR dan menggunakan media *biodegradable polymer*. MBBR ini mencapai kondisi *steady state* membutuhkan waktu selama 80 hari. Berdasarkan hasil penelitian ini menunjukkan bahwa rata-rata efisiensi removal ammonia sebesar 75% dengan waktu HRT selama 18,5 jam.

Menurut Banu *et al.* (2009), proses pengolahan limbah dengan menggunakan A<sup>2</sup>O-MBR (Anoksik Anaerobik) dioperasikan selama 210 hari. Limbah yang diolah berupa air limbah buatan. HRT yang dibutuhkan selama 10 jam dengan efisiensi removal nitrat mencapai 80%.

Menurut Borkar *et al.* (2013), reaktor MBBR skala laboratorium dengan volume 2 L dan dioperasikan secara kontinu menggunakan sampel air limbah buatan. Reaktor ini diisi dengan media Kaldness 1 (K1) sebanyak 50% dari total volume reaktor. HRT reaktor selama 8 jam dan HRT pengendapan selama 4 jam. Periode *start up* dilakukan sekitar 4 minggu untuk menumbuhkan biofilm pada media, dan diikuti dengan waktu pengujian selama 10 minggu. Efisiensi removal senyawa organik dapat mencapai 95% ketika OLR nya sebesar 6 gCOD/m<sup>2</sup>hari. Ketika HRT 4 jam maka efisiensi removal ammonia dapat mencapai 90%. Berikut rangkuman penelitian-penelitian serupa yang digunakan sebagai referensi yang dapat dilihat pada Tabel 2.9.

**Halaman ini sengaja dikosongkan**

Tabel 2.9 Penelitian Terkait MBBR

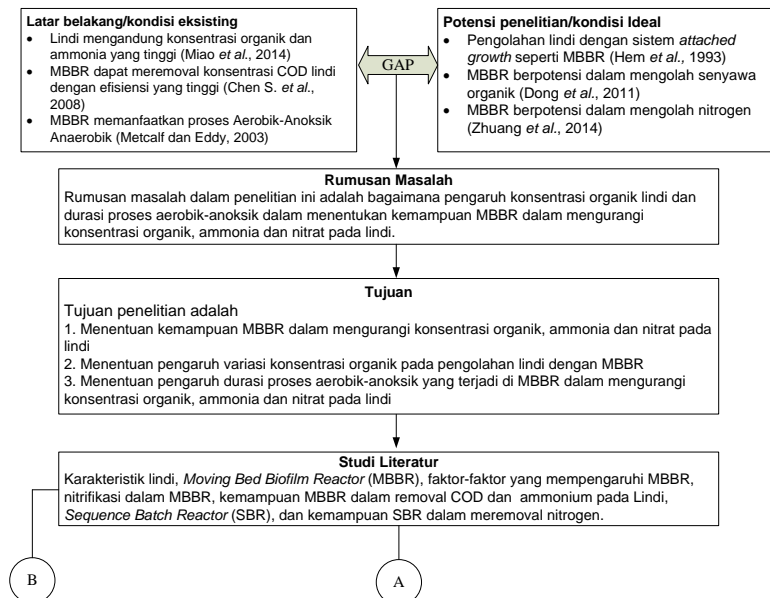
No	Penelitian	Sampel	HRT (jam)	Waktu aklimatisasi	Konsentrasi Awal (mg/L)				Efisiensi Removal (%)				Nama Peneliti (Tahun)
					COD	NH <sub>4</sub>	NH <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub>	COD	NH <sub>4</sub>	NH <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub>	
1	MBBR dengan media PE D = 7 mm dan P = 9 mm	Lindi	12-96	24 hari	15000	400	-	-	93	97	-	-	Chen <i>et al.</i> (2007)
2	Tanpa media tetapi proses yang terjadi sama dengan proses MBBR yaitu aerobik-anoksik anaerobik	Lindi	45	30 hari	-	-	2000	0,5	-	-	80	80	Miao <i>et al.</i> (2014)
3	MBBR dengan <i>suspended ceramic biocarrier</i>	Wastewater	64	7 hari	2500	-	100	-	73	-	85	-	Dong <i>et al.</i> (2011)
4	MBBR dengan media PE D = 2,2 cm P = 0,1 cm	Wastewater	18	20 hari	2000	150	-	-	75	85	-	-	Zuang <i>et al.</i> (2014)
5	MBBR dengan media HDPE D = 9,9 mm	Wastewater	48	14 hari	2500	-	-	-	80	-	-	-	Qaderi <i>et al.</i> (2011)

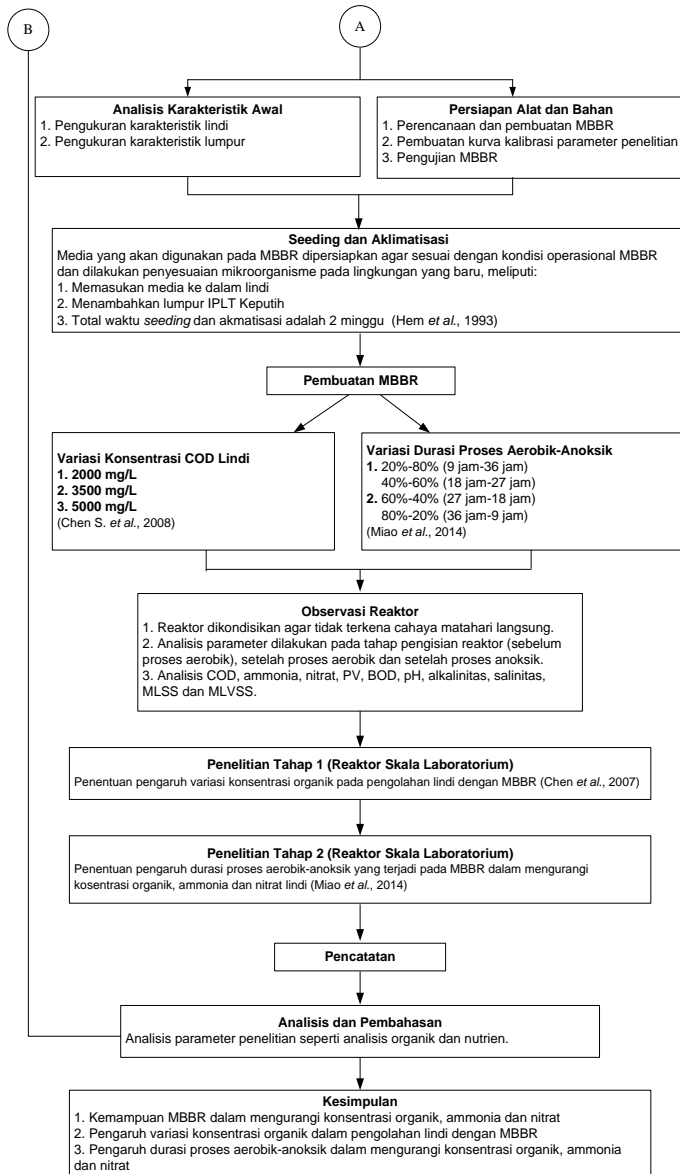
No	Penelitian	Sampel	HRT (jam)	Waktu aklimatisasi	Konsentrasi Awal (mg/L)				Efisiensi Removal (%)				Nama Peneliti (Tahun)
					COD	NH <sub>4</sub>	NH <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub>	COD	NH <sub>4</sub>	NH <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub>	
6	MBBR dengan media Kaldnes tipe 3 (K3) D = 25 mm, P = 12 mm	<i>Wastewater</i>	48	15 hari	-	-	200	-	-	-	60	-	Bassin <i>et al.</i> (2011)
7	MBBR dengan media <i>Biodegradable Polymer</i> D = 3,5 mm	<i>Synthetic Wastewater</i>	18,5	80 hari	-	-	200	-	-	-	75	-	Chu <i>et al.</i> (2011)
8	Tanpa media tetapi proses yang terjadi sama dengan proses MBBR yaitu utrien-anoksik utrient	<i>Synthetic Domestic Wastewater</i>	10	38 hari	-	-	300	-	-	-	65	-	Banu <i>et al.</i> (2009)
9	MBBR dengan media Kaldnes tipe 2 (K2) D = 10 mm, P = 15 mm	<i>Synthetic Wastewater</i>	12	28 hari	1000	-	-	0,4	95	-	-	90	Borkar <i>et al.</i> (2013)

## BAB 3 METODE PENELITIAN

### 3.1 Kerangka Penelitian

Kerangka penelitian memuat secara garis besar metode yang perlu dilakukan selama penelitian. Penelitian ini didasarkan pada kerangka penelitian yang terdiri dari “GAP” antara kondisi ideal dengan kondisi realita sehingga dapat ditentukan rumusan masalah dan tujuan dari adanya penelitian ini. Setelah itu, dilakukan persiapan penelitian yang terdiri dari persiapan alat dan bahan serta penelitian pendahuluan sehingga memudahkan dalam pelaksanaan penelitian. Kemudian, menganalisis dan membahas hasil penelitian untuk merumuskan kesimpulan. Kerangka penelitian dan kerangka kerja tugas akhir dapat dilihat pada Gambar 3.1.





Gambar 3.1 Kerangka Penelitian

### 3.2 Analisis Karakteristik Awal

Pada penelitian pendahuluan dilakukan uji karakteristik lindi TPA Ngipik Gresik awal, uji MLSS dan MLVSS lumpur IPLT Keputih awal. Sehingga dapat diketahui berapa banyak lindi dan lumpur yang harus dimasukkan ke dalam reaktor.

### 3.3 Persiapan Alat dan Bahan

Peralatan dan bahan yang perlu disiapkan adalah sampel lindi TPA Ngipik Gresik, lumpur IPLT Keputih, *bubble aerator* dengan kapasitas 4 L/menit (LAMPIRAN B), MBBR, media Kaldness 1 (K1) dan *glasswear* serta reagen yang diperlukan untuk analisis parameter utama dan parameter tambahan, seperti:

1. Analisis COD
2. Analisis Nitrat
3. Analisis Ammonia
4. Analisis pH, BOD, alkalinitas, salinitas, MLSS dan MLVSS

### 3.4 Seeding dan Aklimatisasi

*Seeding* dilakukan untuk memperoleh mikroorganisme yang siap digunakan ketika pengoperasian MBBR. Lindi dan lumpur IPLT dimasukkan ke dalam MBBR untuk memberi makanan pada mikroorganisme agar mikroorganisme terbiasa untuk memakan lindi. Lumpur IPLT Keputih yang digunakan berasal dari RAS (*Return Activated Sludge*) unit Clarifier karena lumpur yang berasal dari unit ini memiliki konsentrasi yang tinggi dan lumpur aerobiknya sudah dalam kondisi fakultatif/anoksik. Konsentrasi MLSS lumpur RAS IPLT Keputih sebesar 28000 mg/L (Indriani, 2010). Pada tahap *running* reaktor, konsentrasi MLSS yang akan digunakan yaitu sebesar 4000 mg/L sehingga konsentrasi MLSS lumpur tersebut akan diencerkan menjadi 20000 mg/L kemudian diencerkan lagi hingga konsentrasi MLSS nya menjadi 4000 mg/L. Hal ini dilakukan untuk menghindari terjadinya *sludge bulking*.



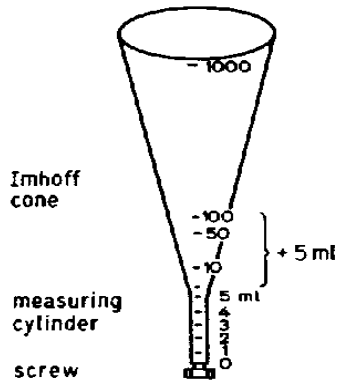
Aklimatisasi merupakan proses penyesuaian suatu organisme untuk beroperasi pada lingkungan yang baru. Lindi dan lumpur dicampur di dalam reaktor yang diaerasi selama dua minggu (14 hari) (Hem *et al.*, 1993). Volume lumpur yang dimasukkan ke dalam setiap reaktor sebanyak 2 L dan volume lindi sebanyak 8 L. Sumber organik yang digunakan pada minggu pertama terdiri dari 50% lindi dan 50% glukosa yang berasal dari gula pasir, sedangkan sumber organik pada minggu kedua terdiri dari 100% lindi. Kondisi *steady state* dapat dicapai apabila efluen sampel mempunyai nilai konsentrasi COD yang konstan atau stabil, yaitu ketika efisiensi removal COD mencapai 80% (Chen *et al.*, 2008). Setelah mencapai kondisi *steady state* maka sejumlah sampel disimpan di dalam sebuah tanki sebagai stok lumpur agar setiap kali membutuhkan sampel, sudah tersedia sampel yang sudah teraklimatisasi.

### 3.5 Analisis Awal (Penelitian Pendahuluan)

Pada penelitian pendahuluan dilakukan pembuatan reagen dan kurva kalibrasi ammonia-nitrogen dan nitrat-nitrogen. Selain itu, dilakukan analisis berupa *Settleability Solid Test* untuk memverifikasi lama waktu pengendapan yang akan digunakan di dalam reaktor. Adapun tahapan *Settleability Solid Test* seperti berikut:

1. Diambil 2000 mL Lumpur IPLT
2. Didiamkan selama 15 menit
3. Diamati solid yang mengendap
4. Dilakukan pengamatan hingga solid yang terbentuk mencapai *steady state*
5. Lama waktu yang diperoleh sama dengan lama waktu yang dibutuhkan pada tahap pengendapan.

(Metcalf dan Eddy, 2003)



Gambar 3.2 *Settleability Solid Test*  
Sumber: Metcalf dan Eddy, 2003

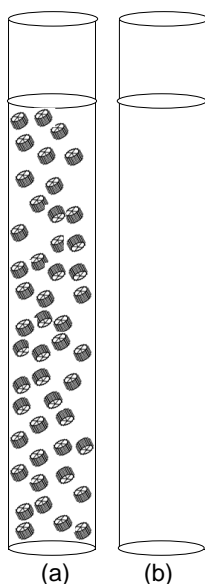
### 3.6 Pembuatan Reaktor

Reaktor yang direncanakan yaitu menggunakan pipa PVC dengan diameter sekitar  $\pm 10,16$  cm (4 inchi) dan tinggi 200 cm. Volume pengolahan pada reaktor MBBR *batch* adalah 10 L. Konsentrasi MLSS yang dibutuhkan di dalam MBBR adalah 4000 mg/L. Media terendam yang digunakan yaitu tipe Kaldness (K1) (Gambar 3.3) sebanyak 20-50% dari volume reaktor (Metcalf dan Eddy, 2003; Borkar *et al.*, 2013).



Gambar 3.3 Media tipe Kaldness (K1)

Pada penelitian ini digunakan dua macam reaktor yaitu reaktor kontrol berupa reaktor dengan sistem *suspended growth* seperti reaktor SBR (*Sequence Batch Reactor*) dan reaktor uji berupa reaktor dengan sistem *fluidize attached growth* (MBBR). Reaktor MBBR (C) adalah reaktor yang digunakan untuk pengujian variabel dengan durasi proses yang berbeda (Gambar 3.4). Reaktor SBR (K) adalah reaktor kontrol dengan kondisi yang sama dengan reaktor MBBR, tetapi tanpa media di dalam reaktor. Jumlah reaktor MBBR dan reaktor SBR masing-masing sebanyak 4 buah sehingga total reaktor yang dibutuhkan sebanyak 8 buah.



Gambar 3.4 (a) Reaktor Uji MBBR, (b) Reaktor Kontrol SBR

### 3.7 Pelaksanaan Penelitian

Pada awal penelitian dilakukan *seeding* mikroorganisme pada media dan aklimatisasi. Penelitian dilakukan dengan variasi konsentrasi dan variasi durasi proses aerobik-anoksik. Penelitian ini untuk menentukan kemampuan MBBR dalam menurunkan

konsentrasi senyawa organik dan nitrogen yang dilakukan selama 45 hari.

Penelitian dengan variasi durasi proses aerobik-anoksik dilakukan selama 15 hari, yang terdiri dari lima siklus. Setiap satu siklus dilakukan tiga kali analisis parameter utama yang membutuhkan waktu selama 48 jam. Analisis parameter dilakukan pada sebelum proses aerobik, setelah proses aerobik, dan setelah proses anoksik. Adapun penjelasan mengenai variasi durasi proses aerobik-anoksik yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.1. Pengoperasian reaktor dengan konsentrasi COD lindi 2000 mg/L dilakukan dari hari ke 0 sampai hari ke 14, pengoperasian reaktor dengan konsentrasi COD lindi 3500 mg/L dilakukan pada hari ke 15 sampai hari ke 29, dan untuk konsentrasi COD lindi 5000 mg/L dilakukan pada hari ke 30 sampai hari ke 44 (Tabel 3.2). Setiap masing-masing reaktor diisi dengan jumlah media sebanyak 20% dari total volume reaktor.

Proses aerobik dibuat dengan menyalakan aerator dan pompa *submersible*, proses anoksik dibuat dengan menyalakan pompa *submersible* saja. Reaktor MBBR ini dioperasikan dengan sistem *batch*. Di dalam reaktor *batch* aliran air yang masuk, diaduk sempurna, diolah dan dikeluarkan, begitu seterusnya (Metcalf dan Eddy, 2003).

Tabel 3.1 Variasi Durasi Proses Aerobik-Anoksik

	Aerobik (%)	Anoksik (%)	Durasi (jam)		Keterangan
Reaktor SBR 1	20	80	9	36	tanpa media
Reaktor MBBR 1	20	80	9	36	Media
Reaktor SBR 2	40	60	18	27	tanpa media
Reaktor MBBR 2	40	60	18	27	Media
Reaktor SBR 3	60	40	27	18	tanpa media
Reaktor MBBR 3	60	40	27	18	Media
Reaktor SBR 4	80	20	36	9	tanpa media
Reaktor MBBR 4	80	20	36	9	Media

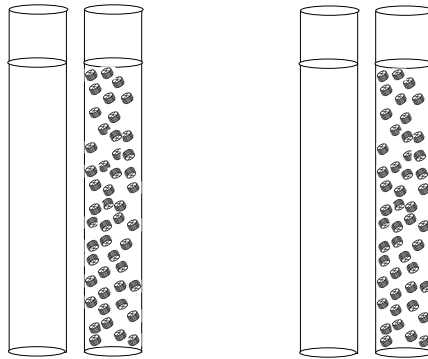
Tabel 3.2 Faktorial Penelitian

Durasi Proses Aerobik-Anoksik (%)																				Variasi Uji Variabel	
20-80					40-60					60-40					80-20						
I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V		
C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	2000	Konsentrasi COD Lindi (mg/L)
D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15	D16	D17	D18	D19	D20	1500	
E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E13	E14	E15	E16	E17	E18	E19	E20	2000	

Setiap variasi konsentrasi COD diberi perlakuan variasi durasi proses aerobik-anoksik yang berbeda. Waktu total yang dibutuhkan untuk proses aerobik-anoksik adalah 45 jam (HRT aerobik pertama 10 jam dan HRT aerobik kedua 16,6 jam dan HRT anoksik 18,4 jam) dan tahap pengendapan selama 3 jam (Miao *et al.*, 2014). Ilustrasi penelitian untuk variasi durasi proses utrien-anoksik dapat dilihat pada Gambar 3.5.

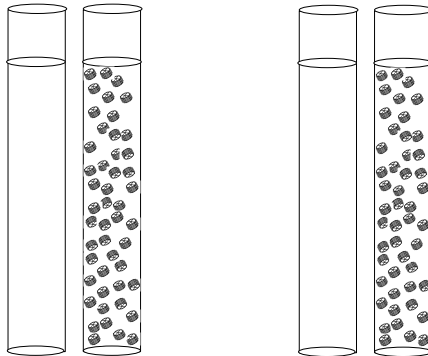
Variasi durasi proses aerobik-anoksik yang pertama yaitu durasi dengan waktu proses aerobik yang lebih lama dari waktu proses anoksiknya. Hal ini dilakukan untuk mengetahui penurunan konsentrasi organik dari proses aerobik dan juga untuk menyediakan kecukupan oksigen terikat pada proses anoksik. Variasi durasi proses aerobik-anoksik yang kedua yaitu durasi dengan waktu proses anoksik yang lebih lama dari waktu proses aerobiknya. Hal ini dilakukan karena dianggap bahwa konsentrasi ammonia yang tersedia pada lindi sudah dalam jumlah yang besar.

Konsentrasi COD Lindi 2000 mg/L, 3500 mg/L atau 5000 mg/L



C1: Aerobik 20% (9 jam)  
Anoksik 80% (36 jam)  
K: Reaktor Kontrol tanpa media

C2: Aerobik 40% (18 jam)  
Anoksik 60% (27 jam)  
K: Reaktor Kontrol tanpa media



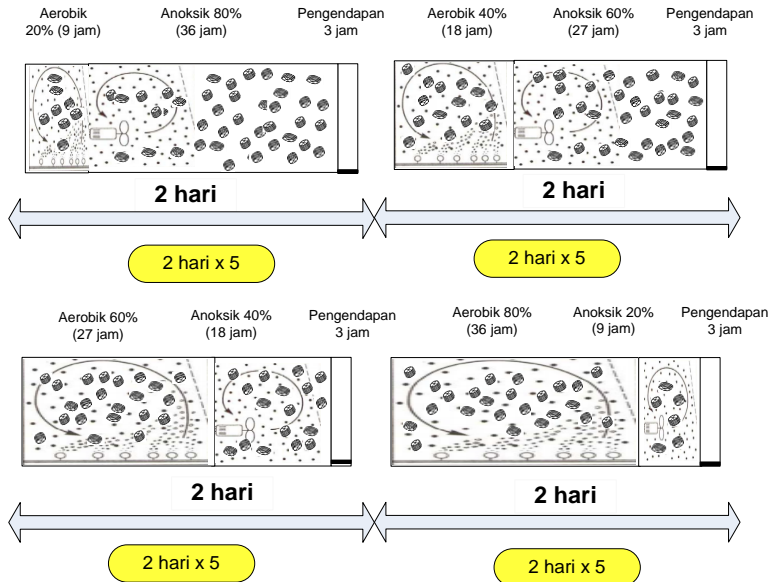
C3: Aerobik 60% (27 jam)  
Anoksik 40% (18 jam)  
K: Reaktor Kontrol tanpa media

C4: Aerobik 80% (36 jam)  
Anoksik 20% (9 jam)  
K: Reaktor Kontrol tanpa media

Gambar 3.5 Ilustrasi Variasi Durasi Proses Aerobik-Anoksik

Parameter utama yang digunakan adalah COD, ammonia-nitrogen dan nitrat-nitrogen, sedangkan untuk parameter tambahan yang digunakan adalah BOD, salinitas, pH, alkalinitas, MLSS dan MLVSS. Analisis parameter tambahan dilakukan pada siklus ke empat atau lima. Ilustrasi yang dilakukan di dalam penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.6.

Konsentrasi COD Lindi 2000 mg/L, 3500 mg/L atau 5000 mg/L



Gambar 3.6 Ilustrasi Analisis MBBR

### 3.8 Metode Analisis Sampel

Metode analisis yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

1. Analisis Nitrat-Nitrogen  
Nitrat-nitrogen dianalisis dengan menggunakan *Brucine Acetate* dan dilakukan pembacaan nilai absorbansinya menggunakan spektrofotometer visual. Pada analisis ini dilakukan pembuatan reagen dan kurva kalibrasinya terlebih dahulu.
2. Analisis Ammonia-Nitrogen  
Ammonia-nitrogen dianalisis dengan menggunakan *Nesslerization Method* yang dilakukan dengan pembacaan nilai absorbansinya menggunakan spektrofotometer visual. Pada analisis ini dilakukan pembuatan reagen dan kurva kalibrasinya terlebih

- dahulu. Analisis nitrogen dalam bentuk ammonia dan nitrat dilakukan untuk menganalisis proses nitrifikasi dan denitrifikasi yang terjadi di dalam reaktor.
3. Analisis COD (*Chemical Oxygen Demand*)  
Analisis COD dilakukan dengan prinsip *Closed Reflux* dengan melalui oksidasi oleh larutan  $K_2Cr_2O_7$  dalam keadaan asam. Analisis ini dilakukan untuk mengetahui penurunan konsentrasi organik.
  4. Analisis BOD (*Biochemical Oxygen Demand*)  
Analisis BOD menggunakan prinsip winkler, yaitu reaksi oksidasi zat organik dengan oksigen yang terkandung dalam air oleh mikroorganisme. Analisis ini dilakukan untuk mengetahui tingkat biodegradasi lindi.
  5. Analisis MLSS (*Mixed Liquor Suspended Solid*)  
Analisis MLSS dengan menggunakan metode gravimetri. Analisis gravimetri adalah suatu teknik analisis kuantitatif yang didasarkan pada pengukuran massa. Hal ini melalui pengendapan, penyaringan, pencucian endapan, pengeringan dan penimbangan. Analisis ini dilakukan untuk mengetahui kecukupan biomassa atau pertumbuhan biomassa.
  6. Analisis Salinitas  
Analisis nilai salinitas diukur dengan menggunakan *Electrometric Method* dengan menggunakan alat *pH onlab-EC 10*.
  7. Analisis pH  
Analisis nilai pH diukur dengan menggunakan *Electrometric Method* (pH meter) dengan menggunakan alat *Basic pH meter-03771 Denver Instrument*.
  8. Analisis Alkalinitas  
Analisis alkalinitas dengan menggunakan prinsip titrasi asam-basa dengan indikator warna, hasil yang diperoleh dalam bentuk mg  $CaCO_3/L$ . Analisis pH dan alkalinitas dilakukan untuk menganalisis kondisi keasaman sampel.



**Halaman ini sengaja dikosongkan**

## **BAB 4**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Analisis Awal Karakteristik Lindi TPA Ngipik Gresik dan Lumpur IPLT Keputih**

Analisis yang pertama kali dilakukan pada penelitian ini adalah menguji karakteristik lindi TPA Ngipik Gresik. Analisis ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar konsentrasi senyawa organik pada sampel sehingga ketika penelitian dilakukan dapat memudahkan dalam penentuan variasi konsentrasi lindi tersebut. Analisis karakteristik lindi dilakukan dengan menguji parameter utama yang digunakan pada penelitian ini, yaitu COD,  $\text{NH}_3\text{-N}$  dan  $\text{NO}_3\text{-N}$ . Analisis juga dilakukan untuk menguji parameter tambahan seperti BOD, pH, alkalinitas dan salinitas. Selanjutnya menguji karakteristik awal lumpur IPLT Keputih yang digunakan sebagai sumber mikroorganisme di dalam penelitian ini. Hal ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar konsentrasi padatan tersuspensi utrien yang ada pada lumpur. Sehingga ketika penelitian dilakukan dapat memudahkan dalam penentuan angka pengenceran yang dibutuhkan untuk membuat konsentrasi lumpur yang sesuai dengan tipikal parameter operasi MBBR. Analisis karakteristik awal yang digunakan yaitu MLSS dan MLVSS.

Kandungan senyawa organik pada sampel ditunjukkan melalui analisis *Chemical Oxygen Demand* (COD). Analisis kandungan nutrisi ditunjukkan melalui analisis nitrogen dalam bentuk ammonia dan nitrat. Hasil analisis kandungan senyawa organik dan nutrisi lain yang ada pada sampel dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Analisis Karakteristik Awal Lindi dan Lumpur

Parameter	Satuan	Nilai
COD	mg/L	16000
NH <sub>3</sub> -N	mg/L	399,150
NO <sub>3</sub> -N	mg/L	156,437
BOD	mg/L	1407,78
pH	-	8,58
Alkalinitas	mg/L	100
Salinitas	ppt	7,51
MLSS	mg/L	29000
MLVSS	mg/L	28995,1

#### 4.2 Seeding dan Aklimatisasi

Pada tahap aklimatisasi, lindi dengan konsentrasi COD 3500 mg/L dan lumpur konsentrasi 4000 mg/L dicampur di dalam reaktor yang diaerasi dan diaduk dengan pompa selama 14 hari. Setelah 14 hari, maka dilakukan analisis COD untuk memastikan kondisi *steady state*. Analisis COD dilakukan pada semua reaktor dan hasilnya menunjukkan efisiensi removal COD berkisar 81-87%. Sehingga kondisi *steady state* dianggap telah tercapai. Hasil analisis COD pada tahap *seeding* dan aklimatisasi dapat dilihat pada Tabel 4.2.

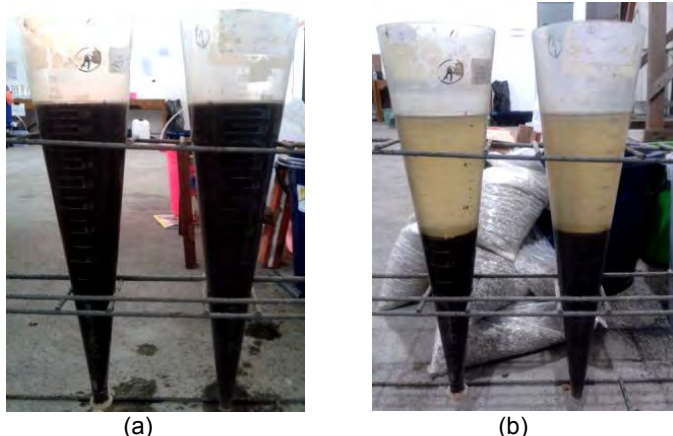
Tabel 4.2 Hasil Removal COD *Seeding* dan Aklimatisasi

	Efisiensi Removal Analisis COD (%)	
	Setelah Hari ke-	
	7	14
Reaktor SBR 1	53,85	85,96
Reaktor MBBR 1	50,00	83,46
Reaktor SBR 2	69,23	81,54
Reaktor MBBR 2	53,46	85,19
Reaktor SBR 3	84,62	82,88

	Efisiensi Removal Analisis COD (%)	
	Setelah Hari ke-	
	7	14
Reaktor MBBR 3	59,62	87,69
Reaktor SBR 4	84,62	86,54
Reaktor MBBR 4	57,69	85,77

### 4.3 Analisis Awal (Penelitian Pendahuluan)

Pada penelitian pendahuluan dilakukan pembuatan kurva kalibrasi ammonia-nitrogen dan nitrat-nitrogen (LAMPIRAN A). Selain itu juga dilakukan analisis *Settleability Solid Test* yang hasilnya menunjukkan bahwa waktu pengendapan yang dibutuhkan di dalam 1 L lumpur dengan konsentrasi MLSS 4000 mg/L yaitu selama 3 jam, dengan endapan lumpur yang didapatkan sebanyak 160 mL (Gambar 4.1). Artinya pada tahap *running*, di dalam setiap reaktor kapasitas 10 L akan dimasukkan sebanyak 1,6 L lumpur dengan lama waktu pengendapan selama 3 jam.



(a) (b)  
Gambar 4.1 *Settleability Solid Test* (a) Awal, (b) Akhir

#### 4.4 Pelaksanaan Penelitian

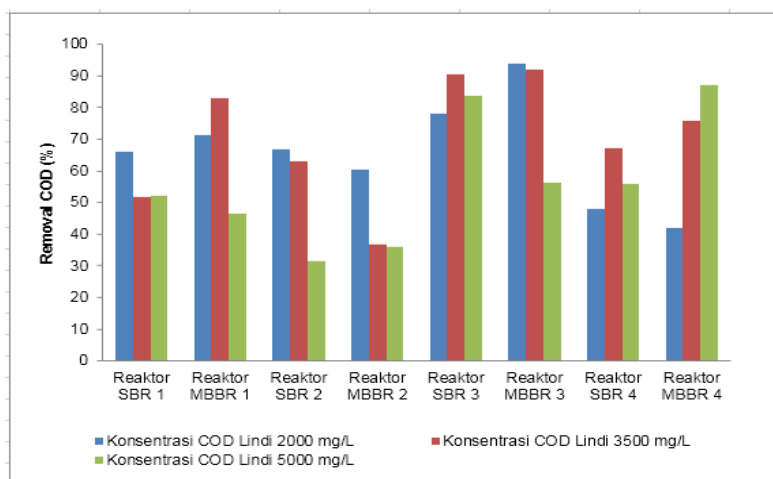
Pelaksanaan penelitian berlangsung selama  $\pm$  45 hari, yang dimulai sejak 06 Januari 2015 hingga 13 Maret 2015. MBBR diletakkan di dalam *workshop* Jurusan Teknik Lingkungan, sehingga cuaca hujan atau panas tidak mempengaruhi pelaksanaan penelitian. Kapasitas pengolahan setiap reaktor yaitu sebesar 10 L yang terdiri dari 1,6 L lumpur dan 8,4 L lindi dengan konsentrasi COD sebesar 2000 mg/L, 3500 mg/L atau 5000 mg/L (sesuai variasi konsentrasi lindi yang digunakan). Reaktor SBR 1, 2 dan reaktor MBBR 1, 2 merupakan reaktor dengan durasi waktu proses aerobik yang lebih sedikit dibandingkan dengan reaktor lainnya. Reaktor SBR 1, 2, 3 dan 4 merupakan reaktor kontrol dengan sistem *suspended growth* (tanpa media K1), sedangkan reaktor MBBR 1, 2, 3 dan 4 merupakan reaktor uji dengan sistem *fluidize attached growth* (dengan media K1) (Gambar 4.2). Variasi durasi proses aerobik yang lebih lama digunakan untuk mempersiapkan oksigen terikat ( $\text{NO}_3^-$ ) yang dibutuhkan pada proses anoksik, sedangkan variasi durasi proses anoksik yang lebih lama digunakan untuk mengoptimalkan removal nitrogen dan mengoksidasi organik dengan konsentrasi COD lindi 2000-5000 mg/L.



Gambar 4.2 Reaktor MBBR dan SBR

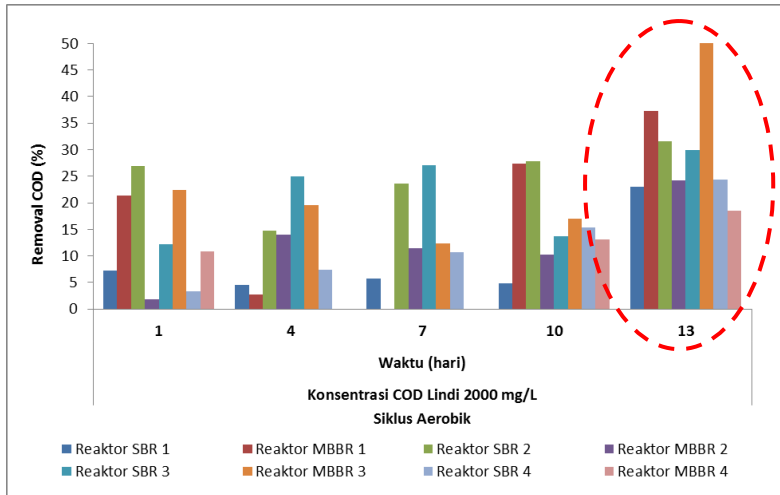
#### 4.4.1 Hasil Penurunan Konsentrasi COD dengan MBBR

Salah satu penurunan konsentrasi organik ditunjukkan melalui removal konsentrasi COD. Analisis COD tergolong sebagai parameter utama sehingga analisis dilakukan pada setiap sebelum proses aerobik, setelah proses aerobik, dan setelah proses anoksik. Selama pengamatan ini, efisiensi MBBR untuk parameter COD yang diperoleh sekitar 36,58%-92,15%. Removal zat organik dengan konsentrasi COD lindi 2000 mg/L, pada reaktor SBR 1 dan MBBR 1 menunjukkan hasil yang baik dalam mengoksidasi zat organik seperti reaktor SBR 3 dan MBBR 3 yaitu dengan efisiensi removal COD masing-masing sebesar 65,96%, 71,33%, 78%, dan 93,89%. Akan tetapi, jika reaktor SBR 4 dan MBBR 4 dibandingkan dengan reaktor-reaktor tersebut maka efisiensi removal COD yang diperoleh lebih kecil yaitu sebesar 48,03% dan 42,13%. Hal ini juga terjadi pada reaktor SBR 2 dan MBBR 2 yang menunjukkan hasil cukup baik tetapi besar efisiensi removal COD nya tidak sebaik reaktor SBR 1-MBBR 1 dan reaktor SBR 3-MBBR 3. Artinya reaktor SBR 2-MBBR 2 dan reaktor SBR 4-MBBR 4 tidak beroperasi dengan baik. Sehingga pada konsentrasi COD 2000 mg/L, hasil paling baik ditunjukkan oleh reaktor SBR 1 dan MBBR 1 serta reaktor SBR 3 dan MBBR 3 (Gambar 4.3). Untuk menentukan reaktor yang mampu mengoksidasi zat organik paling baik maka dapat dilihat berdasarkan besar efisiensi removal COD yang terjadi pada proses aerobik dan anoksiknya. Rata-rata konsentrasi oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme (nilai DO atau *Dissolved Oxygen*) untuk memecah organik yaitu sekitar 3-5 mg O<sub>2</sub>/L (Boyd, 1990).

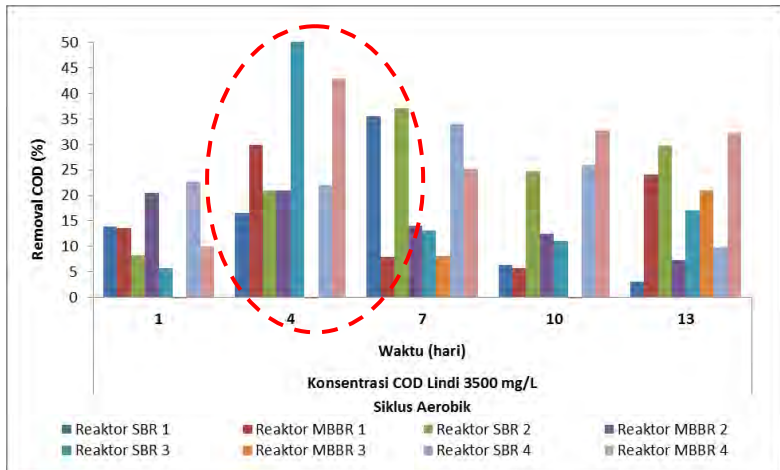


Gambar 4.3 Efisiensi Removal COD Setiap Variasi Konsentrasi

Siklus aerobik dan siklus anoksik menunjukkan tren yang berbeda. Tren penurunan konsentrasi organik yang terjadi selama proses aerobik dapat dilihat pada Gambar 4.4, Gambar 4.5 dan Gambar 4.6. Pada siklus aerobik konsentrasi 2000 mg/L dan 5000 mg/L rata-rata efisiensi removal COD paling optimum terjadi pada siklus ke-5 (siklus akhir) sedangkan pada konsentrasi 3500 mg/L rata-rata efisiensi removal COD paling optimum terjadi pada siklus ke-2 atau ke-3 (siklus tengah). Hal ini menunjukkan efisiensi removal zat organik berbanding lurus dengan pertumbuhan mikroorganisme di dalam reaktor *batch*. Pada konsentrasi 2000 mg/L bersamaan dengan mikroorganisme yang masih berada pada fase adaptasi sehingga removal substrat optimum di siklus akhir. Ketika konsentrasi menjadi 3500 mg/L, mikroorganisme sudah mencapai fase pertumbuhan eksponensial sehingga removal zat organik dapat lebih cepat optimum yaitu terjadi di siklus tengah. Akan tetapi, semakin lama akan mengalami penurunan dan pada konsentrasi 5000 mg/L pertumbuhan mikroorganisme akan kembali pada fase adaptasi sehingga removal zat organik akan berada di siklus akhir (Metcalf dan Eddy, 2003).

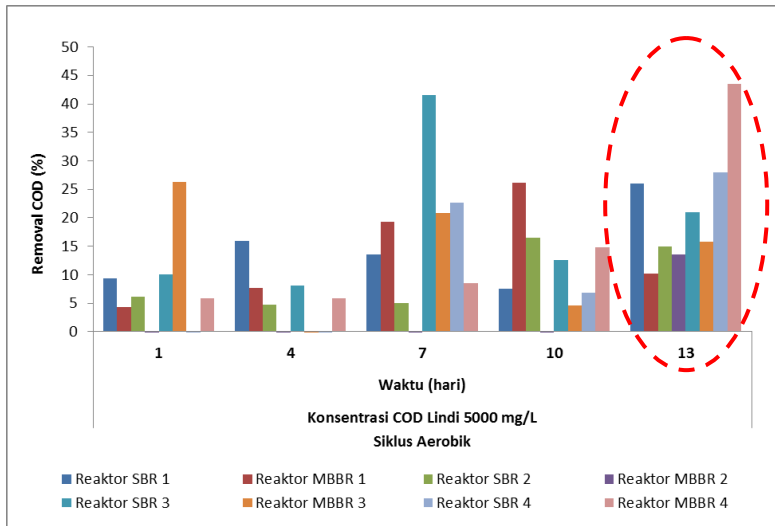


Gambar 4.4 Efisiensi Removal COD Kondisi Aerobik Pada Konsentrasi COD Lindi 2000 mg/L



Gambar 4.5 Efisiensi Removal COD Kondisi Aerobik Pada Konsentrasi COD Lindi 3500 mg/L

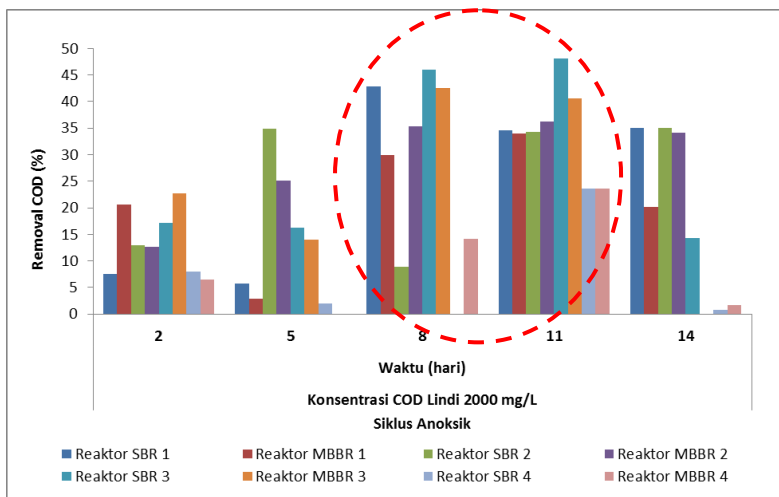




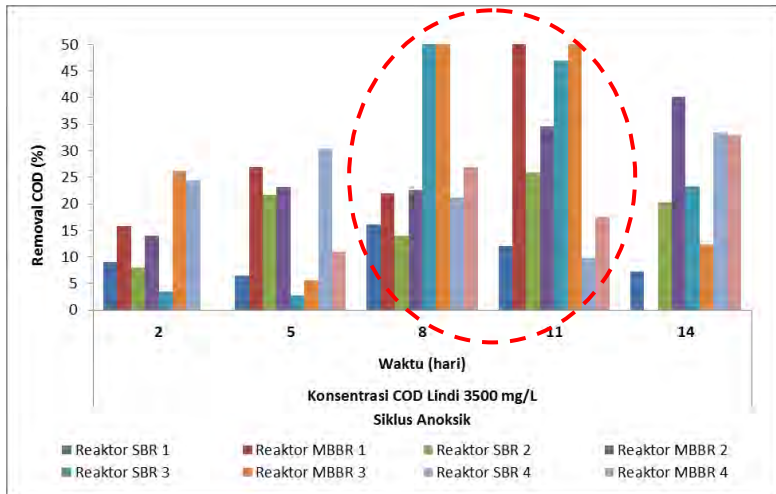
Gambar 4.6 Efisiensi Removal COD Kondisi Aerobik Pada Konsentrasi COD Lindi 5000 mg/L

Tren pada proses anoksik dapat dilihat pada Gambar 4.7, Gambar 4.8 dan Gambar 4.9. Pada siklus anoksik menunjukkan hasil yang lebih baik. Setiap variasi konsentrasi COD lindi menunjukkan tren optimum yang hampir sama yaitu terjadi pada siklus ke-3 dan 4 (siklus tengah). Pada konsentrasi COD lindi 2000 mg/L rata-rata efisiensi removal disetiap reaktor hampir sama. Hal ini menunjukkan bahwa bakteri anoksik hasil *seeding* dan aklimatisasi mampu beradaptasi lebih baik dengan kondisi lindi pada konsentrasi lindi yang rendah. Akan tetapi, pada konsentrasi COD lindi 3500 mg/L, bakteri anoksik bekerja semakin baik di beberapa reaktor yang menunjukkan bahwa bakteri anoksik tersebut tidak dipengaruhi oleh kenaikan konsentrasi lindi tetapi sebaliknya, menyediakan organik untuk bakteri anoksik (terlihat pada kinerja reaktor SBR 3 dan MBBR 3). Pada konsentrasi COD lindi 5000 mg/L, rata-rata kinerja bakteri anoksik menurun, yang menunjukkan bahwa pada konsentrasi lindi yang semakin tinggi akan menurunkan kemampuan oksidasi bakteri anoksik.

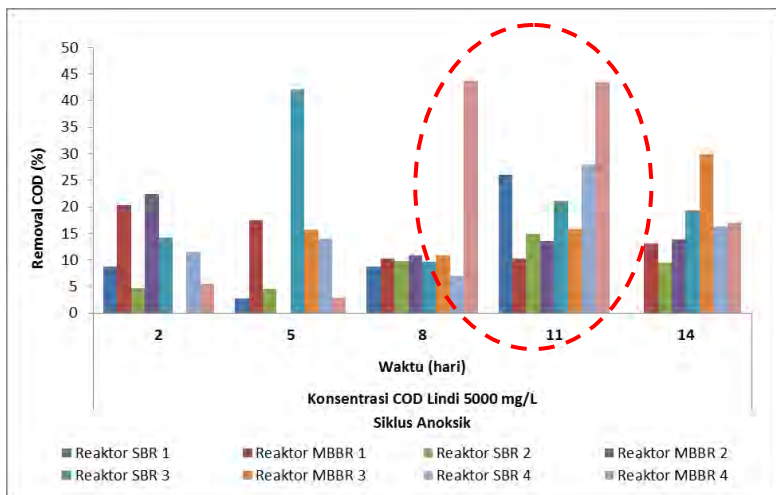
Pada siklus 1 dan 2 di dalam proses anoksik menunjukkan removal zat organik yang lebih sedikit dibandingkan dengan siklus 3 dan 4 yang lebih cenderung optimum di setiap variasi konsentrasi. Hal ini menunjukkan bahwa pada siklus ke 1 dan 2 ketersediaan oksigen terikat masih belum banyak, sedangkan pada siklus ke 3 dan 4 menunjukkan bahwa ketersediaan oksigen terikat sudah banyak sehingga oksidasi organik juga dapat dilakukan dengan optimum. Akan tetapi, pada siklus ke-5 kemampuan oksidasi organik menjadi menurun yang dapat disebabkan karena dua hal, yaitu yang pertama karena kebutuhan oksigen terikat yang tersedia sudah banyak digunakan pada siklus sebelumnya (siklus 3 dan 4) dan yang kedua karena proses nitrifikasi yang sudah tidak lagi optimum akibat konsentrasi organik lindi sudah semakin kecil.



Gambar 4.7 Efisiensi Removal COD Kondisi Anoksik Pada Konsentrasi COD Lindi 2000 mg/L



Gambar 4.8 Efisiensi Removal COD Kondisi Anoksik Pada Konsentrasi COD Lindi 3500 mg/L



Gambar 4.9 Efisiensi Removal COD Kondisi Anoksik Pada Konsentrasi COD Lindi 5000 mg/L

Berdasarkan siklus aerobik dan siklus anoksik SBR 1 dan MBBR 1 (20%-80%) yang dibandingkan dengan SBR 3 dan MBBR 3 (60%-40%), maka hasil removal COD yang paling baik ditunjukkan oleh reaktor SBR 3 dan MBBR 3. Siklus aerobik pada reaktor dengan durasi 60%-40% menunjukkan oksidasi zat organik yang paling optimum (Gambar 4.4, Gambar 4.5 dan Gambar 4.6). Pada siklus anoksik, SBR 3 dan MBBR 3 juga menunjukkan hasil yang paling baik dalam removal COD (Gambar 4.7, Gambar 4.8 dan Gambar 4.9). Sehingga pada konsentrasi 2000 mg/L efisiensi removal COD terbaik diperoleh pada reaktor SBR 3 dan MBBR 3. Efisiensi total removal zat organik dari MBBR cenderung tetap stabil dan optimum ketika durasi proses aerobik-anoksik sebesar 60%-40%. Hal ini menunjukkan bahwa HRT aerobik selama 1,25 hari ( $\approx 30$  jam) memiliki efek yang paling baik untuk meremoval zat organik melalui oksidasi zat organik (Chen *et al.*, 2008; Sahariah dan Chakraborty, 2011).

Oksidasi zat organik pada konsentrasi COD lindi 2000 mg/L, 3500 mg/L dan 5000 mg/L menunjukkan pola yang hampir sama. Reaktor yang menunjukkan hasil oksidasi organik terbaik diperoleh reaktor SBR 3 dan MBBR 3. Efisiensi removal zat organik terbesar dari ke tiga variasi konsentrasi lindi tersebut, terjadi pada konsentrasi COD lindi sebesar 3500 mg/L. Hal ini disebabkan karena siklus anoksik yang terjadi memberikan efisiensi removal COD yang besar dan lebih signifikan dibandingkan dengan siklus aerobiknya sehingga didapatkan efisiensi removal zat organik yang paling optimum. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Chen *et al.* (2008) menyatakan bahwa rata-rata besar efisiensi removal zat organik pada kondisi anoksik anaerobik lebih besar dibandingkan dengan kondisi aerobik karena di dalam MBBR bakteri anoksik dan anaerobik rata-rata bekerja lebih dominan dalam mengoksidasi zat organik. Sehingga hal ini membuat proses aerobik-anoksik pada MBBR memiliki peran penting dan efektif dalam mengoksidasi zat organik pada lindi.

#### 4.4.2 Hasil Penurunan Konsentrasi Nitrogen dengan MBBR

Analisis nitrogen yang dilakukan pada penelitian ini yaitu analisis ammonia-nitrogen dan analisis nitrat-nitrogen. Kedua analisis ini dilakukan setiap hari pada akhir waktu durasi proses aerobik dan anoksik. Analisis ammonia-nitrogen dilakukan dengan menggunakan *Nesslerization Method* dan analisis nitrat-nitrogen dilakukan dengan menggunakan metode *Brucine Acetate* dengan pembacaan nilai absorbansi menggunakan spektrofotometer visual. Pada penelitian ini tidak dilakukan analisis TKN (Total Kjeldahl Nitrogen) karena alat yang dibutuhkan untuk analisis TKN ini belum bisa digunakan.

Lindi mengandung jumlah nitrogen organik yang tinggi dalam bentuk *non degradable* dan *soluble* (Kulikowska dan Bernat, 2013). Removal total nitrogen sebagai ammonia-nitrogen dan nitrat-nitrogen didapatkan melalui proses aerobik dan anoksik. Proses nitrifikasi dan denitrifikasi di dalam SBR maupun MBBR dapat digunakan untuk removal nitrogen pada lindi (Sun *et al.*, 2015). Pada proses aerobik penurunan nitrogen diakibatkan oleh pengambilan senyawa nitrogen untuk proses pembentukan sel mikroorganisme dan nitrifikasi, dan pada proses anoksik penurunan nitrogen juga diakibatkan oleh pengambilan senyawa nitrogen untuk proses pembentukan sel mikroorganisme dan denitrifikasi.

Pada konsentrasi 2000 mg/L efisiensi removal total nitrogen ( $\text{NH}_3\text{-N}$  dan  $\text{NO}_3\text{-N}$ ) paling optimum terjadi pada durasi proses aerobik-anoksik sebesar 20%-80% yaitu reaktor SBR 1 dan MBBR 1. Hasil tersebut ditunjukkan dari besar efisiensi removal terbesar dari total nitrogen ( $\text{NH}_3\text{-N}$  dan  $\text{NO}_3\text{-N}$ ) yaitu sebesar 63,36%-42,26%. Hal ini menunjukkan bahwa dari keseluruhan efisiensi removal nitrogen, durasi proses aerobik yang paling sedikit sudah mampu menurunkan konsentrasi ammonia-nitrogen dan nitrat-nitrogen. Hal ini disebabkan karena pada reaktor tersebut, sebagian besar pengambilan ammonia digunakan untuk *uptake* ammonia oleh mikroorganisme bukan untuk nitrifikasi, dan sebagian besar pengambilan nitrat digunakan untuk denitrifikasi. Akan tetapi, apabila dilihat berdasarkan jenis reaktornya yang

terdiri dari reaktor SBR dan MBBR maka akan terlihat bahwa reaktor MBBR dengan durasi aerasi yang lebih panjang akan menunjukkan hasil yang lebih signifikan dibandingkan reaktor SBR dalam meremoval nitrogen. Hal ini dapat dilihat dari hasil removal nitrogen pada variasi konsentrasi lindi 2000 mg/L, yang menunjukkan reaktor MBBR 4 lebih signifikan meremoval nitrogen dibandingkan dengan reaktor SBR 4 yaitu dengan nilai efisiensi removal masing-masing reaktor sebesar 56,20% dan 29,38%. Artinya pada reaktor ini sistem *attached growth* berlangsung dengan baik. Pada variasi konsentrasi COD lindi 5000 mg/L juga menunjukkan hasil yang serupa dengan konsentrasi 2000 mg/L, yaitu removal nitrogen optimum di reaktor SBR 1 dan MBBR 1 dengan besar efisiensi removal total nitrogen yang lebih besar dibandingkan dengan variasi konsentrasi COD lindi 2000 mg/L yaitu 71,73% dan 71,45%.

Hasil berbeda ditunjukkan pada variasi konsentrasi 3500 mg/L. Hasil paling optimum terlihat pada reaktor SBR 4 dan MBBR 4 dengan durasi aerobik-anoksik sebesar 80%-20%. Hal ini menunjukkan bahwa bakteri yang mengambil menggunakan nitrogen pada konsentrasi 2000 mg/L dan 5000 mg/L adalah bakteri denitrifikasi, sedangkan pada konsentrasi 3500 mg/L adalah bakteri nitrifikasi sehingga membutuhkan durasi proses aerobik yang lebih lama. Selain terjadi proses nitrifikasi oleh bakteri nitrifikasi, juga terjadi proses *uptake* ammonia berupa asimilasi yang digunakan untuk pertumbuhan sel mikroorganisme. *Uptake* yang dilakukan pada proses aerobik dilakukan oleh bakteri nitrifikasi heterotrofik sedangkan pada proses anoksik, *uptake* dilakukan oleh bakteri denitrifikasi heterotrofik (Metcalf dan Eddy, 2003). Akan tetapi, jika dilihat berdasarkan jenis reaktornya (reaktor SBR dan MBBR) menunjukkan bahwa pada variasi konsentrasi 3500 mg/L dan 5000 mg/L yang paling baik dalam meremoval nitrogen adalah reaktor SBR, meskipun besar efisiensi removalnya tidak berbeda jauh dengan reaktor MBBR. Hal ini menunjukkan bahwa adanya pengaruh kenaikan konsentrasi lindi terhadap kemampuan MBBR dalam meremoval nitrogen. Besar efisiensi removal total nitrogendan *mass balance* removal total nitrogen untuk setiap

variasi konsentrasi COD lindi dapat dilihat pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.4.

*Mass balance* removal total nitrogen ( $\text{NH}_3\text{-N}$  dan  $\text{NO}_3\text{-N}$ ) pada konsentrasi 2000 mg/L, yang terjadi akibat adanya proses aerobik dan anoksik dapat dilihat pada Gambar 4.10. Pada proses aerobik, removal total nitrogen dapat disebabkan karena adanya proses *uptake* dan nitrifikasi, sedangkan pada proses anoksik dapat disebabkan karena adanya *uptake* dan denitrifikasi. Siklus (1) menunjukkan removal total nitrogen karena proses aerobik, yang berupa *uptake* dan nitrifikasi. Siklus (2) menunjukkan removal total nitrogen karena proses anoksik. Siklus (3) menunjukkan removal total nitrogen akibat denitrifikasi nitrat menjadi  $\text{N}_2$  gas, dan siklus (4) menunjukkan removal total nitrogen akibat adanya *uptake* anoksik.

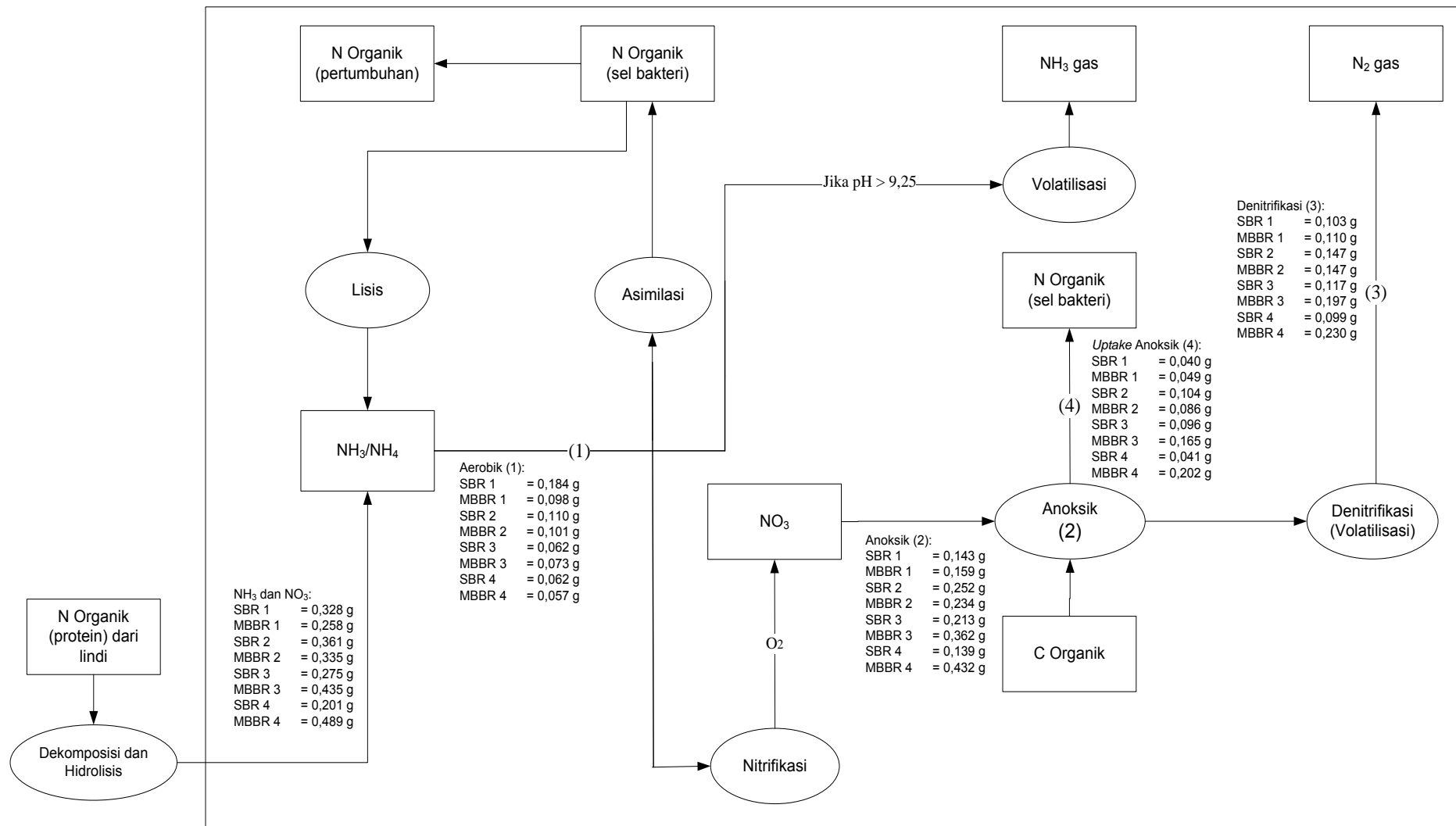
Tabel 4.3 Efisiensi Removal Total Nitrogen berupa  $\text{NH}_3\text{-N}$  dan  $\text{NO}_3\text{-N}$  (%)

	Efisiensi Removal Total Nitrogen (Ammonia dan Nitrat) (%)														
	Konsentrasi COD Lindi 2000 mg/L					Konsentrasi COD Lindi 3500 mg/L					Konsentrasi COD Lindi 5000 mg/L				
	Aerobik+ Anoksik	Aerobik	Anoksik	Denitrifikasi	<i>Uptake</i> Anoksik	Aerobik+ Anoksik	Aerobik	Anoksik	Denitrifikasi	<i>Uptake</i> Anoksik	Aerobik+ Anoksik	Aerobik	Anoksik	Denitrifikasi	<i>Uptake</i> Anoksik
Reaktor SBR 1	63,36	40,63	22,73	13,80	8,93	59,28	0,00	59,28	52,62	6,66	71,73	38,53	33,20	2,05	31,15
Reaktor MBBR 1	42,26	19,92	22,34	12,45	9,88	68,10	43,52	24,58	20,63	3,95	71,45	34,95	36,51	3,87	32,64
Reaktor SBR 2	42,61	18,18	24,43	7,14	17,29	70,05	26,06	43,99	20,53	23,46	65,20	25,87	39,32	8,81	30,51
Reaktor MBBR 2	43,39	17,68	25,71	10,69	15,02	52,57	8,02	44,55	24,23	20,32	57,08	26,13	30,95	8,31	22,64
Reaktor SBR 3	37,36	12,88	24,47	4,47	20,00	64,02	33,06	30,97	21,20	9,77	67,81	31,20	36,61	5,94	30,68
Reaktor MBBR 3	49,42	13,37	36,05	5,73	30,32	64,86	15,16	49,70	22,05	27,65	53,20	34,23	18,97	4,61	14,36
Reaktor SBR 4	29,38	11,34	18,05	10,62	7,43	72,63	29,62	43,01	27,87	15,14	66,88	26,29	40,60	5,66	34,94
Reaktor MBBR 4	56,20	11,14	45,06	5,53	39,53	68,02	43,00	25,02	18,27	6,75	61,45	33,03	28,42	3,47	24,95

Tabel 4.4 *Mass Balance* Removal Total Nitrogen berupa  $\text{NH}_3\text{-N}$  dan  $\text{NO}_3\text{-N}$  (gram/hari)

	<i>Mass Balance</i> Nitrogen (Ammonia dan Nitrat) (gram/hari)														
	Konsentrasi COD Lindi 2000 mg/L					Konsentrasi COD Lindi 3500 mg/L					Konsentrasi COD Lindi 5000 mg/L				
	Aerobik+ Anoksik	Aerobik	Anoksik	Denitrifikasi	<i>Uptake</i> Anoksik	Aerobik+ Anoksik	Aerobik	Anoksik	Denitrifikasi	<i>Uptake</i> Anoksik	Aerobik+ Anoksik	Aerobik	Anoksik	Denitrifikasi	<i>Uptake</i> Anoksik
Reaktor SBR 1	0,328	0,184	0,143	0,103	0,040	0,119	0,000	0,119	0,107	0,012	3,865	1,447	2,417	1,247	1,170
Reaktor MBBR 1	0,258	0,098	0,159	0,110	0,049	0,216	0,131	0,086	0,074	0,012	3,726	1,251	2,475	1,307	1,168
Reaktor SBR 2	0,361	0,110	0,252	0,147	0,104	0,235	0,065	0,169	0,111	0,059	3,806	1,029	2,777	1,564	1,213
Reaktor MBBR 2	0,335	0,101	0,234	0,147	0,086	0,148	0,016	0,132	0,091	0,041	3,069	1,006	2,063	1,191	0,872
Reaktor SBR 3	0,275	0,062	0,213	0,117	0,096	0,172	0,077	0,095	0,072	0,023	4,072	1,290	2,782	1,514	1,268
Reaktor MBBR 3	0,435	0,073	0,362	0,197	0,165	0,318	0,052	0,266	0,171	0,095	2,732	1,384	1,348	0,767	0,581
Reaktor SBR 4	0,201	0,062	0,139	0,099	0,041	0,220	0,074	0,146	0,108	0,038	4,106	1,060	3,046	1,637	1,409
Reaktor MBBR 4	0,489	0,057	0,432	0,230	0,202	0,194	0,111	0,082	0,065	0,017	3,441	1,316	2,126	1,132	0,994





Gambar 4.10 Mass Balance Removal Total Nitrogen ( $\text{NH}_3\text{-N}$  dan  $\text{NO}_3\text{-N}$ ) pada Konsentrasi COD Lindi 2000 mg/L

#### 4.4.2.1 Hasil Penurunan Konsentrasi Ammonia-Nitrogen (NH<sub>3</sub>-N) dengan MBBR

Lindi yang memiliki konsentrasi ammonia-nitrogen yang tinggi dapat disebabkan karena hidrolisis dan fermentasi dari fraksi *nitrogeous organic biodegradable*. Konsentrasi ammonia di dalam lindi yang berasal dari TPA yang berbeda akan menghasilkan konsentrasi ammonium yang juga berbeda, sekitar 10 atau 100 mg NH<sub>4</sub>-N hingga 2000 atau 5000 NH<sub>4</sub>-N (Kulikowska dan Bernat, 2013). Pada proses aerobik terjadi removal ammonia-nitrogen karena nitrifikasi. Proses nitrifikasi yaitu nitrogen organik yang diubah menjadi nitrat, dengan melibatkan mikroorganisme dalam kondisi aerobik (Suganda *et al.*, 2014) atau dalam bentuk reaksi total oksidasi seperti berikut:



(Metcalf dan Eddy, 2003)

Selain itu, removal ammonia nitrogen juga dapat terjadi karena adanya *uptake* oleh mikroorganisme untuk pertumbuhan sel.

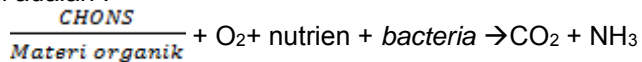
Penentuan removal ammonia-nitrogen terbaik dapat dilihat berdasarkan nilai efisiensi removal ammonia karena proses nitrifikasi yang terjadi pada kondisi aerobik. Pada konsentrasi COD lindi 2000 mg/L efisiensi removal ammonia-nitrogen terbaik karena proses nitrifikasi terjadi pada reaktor SBR 4 dan MBBR 4 dengan besar efisiensi removal ammonia masing-masing yaitu sebesar 10,13% dan 7,37%. Pada durasi proses aerobik yang semakin lama maka nilai efisiensi removal ammonia karena nitrifikasi akan semakin besar. Hal serupa juga ditunjukkan pada variasi konsentrasi COD lindi 5000 mg/L yaitu pada reaktor SBR 4 dan MBBR 4. Efisiensi ammonia pada reaktor tersebut dianggap paling optimum meskipun nilai efisiensi removalnya hanya sekitar 3,20% dan 4,11%. Hal ini karena konsentrasi ammonia pada influen reaktor yang tinggi sehingga meskipun efisiensi removal ammonianya optimum, akan tetapi nilainya tetap kecil.

Pada konsentrasi COD lindi 3500 mg/L efisiensi removal ammonia-nitrogen yang terbaik juga terjadi pada reaktor SBR 4 dan MBBR 4 dengan durasi proses aerobik-anoksik sebesar 80%-20%. Pada variasi konsentrasi ini efisiensi removal ammonia-nitrogen karena proses aerobik (nitrifikasi+*uptake*) mencapai 62,84% dan 76,81%. Sedangkan besar efisiensi removal ammonia karena proses nitrifikasi masing-masing yaitu sebesar 26,28% dan 16,51%. Pada reaktor ini MBBR menunjukkan kinerja paling baik dibandingkan dengan reaktor-reaktor pada variasi konsentrasi yang lainnya. Hal ini menunjukkan bakteri nitrifikasi autotrofik dapat hidup dengan baik pada biofilm dan melakukan proses nitrifikasi dengan optimum. Hasil ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Chen *et al.* (2008), yang menunjukkan efisiensi removal ammonium akan optimum ketika HRT proses aerobik di dalam MBBR lebih dari 1,25 hari (>30 jam) karena terjadi asimilasi mikroorganisme dan nitrifikasi. Maksimum laju nitrifikasi juga dapat dicapai ketika HRT 1,25 hari karena mempertimbangkan media di dalam reaktor yang meng-immobilisasi dan mengakumulasi populasi bakteri nitrifikasi yang cukup besar dalam biofilm. Selain itu, kondisi aerobik di dalam MBBR juga berperan sebagai pengatur utama dari removal ammonium karena adanya proses nitrifikasi. Hal ini dapat meremoval total ammonium sekitar 63-88% atau dengan rata-rata efisiensi removal sebesar 77%.

Nilai efisiensi removal ammonia juga dapat terganggu karena durasi proses anoksik yang rendah. Ketika HRT durasi proses anoksik menurun maka konsentrasi organik di efluen akan meningkat, ini akan menunjukkan bahwa konsentrasi penghambat nitrifikasi juga meningkat sehingga removal ammonium akan menurun. Hal ini dikarenakan bakteri nitrifikasi yang merupakan bakteri autotrofik, dan bakteri heterotrofik yang memiliki laju pertumbuhan lebih tinggi dibandingkan dengan bakteri nitrifikasi. Ketika air limbah mengandung banyak organik, maka bakteri heterotrofik akan terbentuk sangat cepat dan menempati permukaan biofilm. Oleh karena itu populasi bakteri nitrifikasi yang sedikit dapat tumbuh dibagian luar permukaan biofilm, yang tidak menguntungkan untuk removal ammonium. Selain itu, kompetisi untuk mendapatkan oksigen antara bakteri

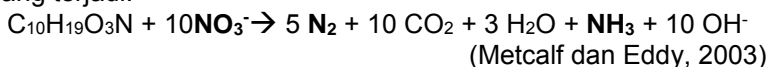
nitrifikasi dan bakteri heterotrofik menjadi lebih intensif, karena bakteri heterotrofik menempati permukaan biofilm yang dapat dengan mudah memanfaatkan oksigen sehingga menurunkan kemampuan bakteri nitrifikasi. Sekitar 10-32% dari total efisiensi removal ammonium merupakan efisiensi removal ammonium yang bisa didapatkan pada reaktor yang mengaplikasikan proses anoksik MBBR (Chen *et al.*, 2008).

Ketidakstabilan efisiensi removal ammonia-nitrogen yang terjadi akibat variasi konsentrasi lindi, dapat disebabkan oleh materi organik yang didegradasi oleh bakteri nitrifikasi tidak stabil, sehingga akan mempengaruhi konsentrasi amonia. Reaksi yang terjadi adalah :



(Gray, 2004; Metcalf dan Eddy, 2003).

Selain itu, pada proses anoksik, juga dapat terjadi penurunan konsentrasi ammonia, tetapi besar efisiensi removalnya tidak sebesar proses aerobik (Miao *et al.*, 2014). Pada proses anoksik, organik yang berperan sebagai elektron donor pada air limbah dengan menggunakan oksigen terikat ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) sebagai aseptor elektron, juga dapat memecah organik menjadi  $\text{N}_2$  bebas. Akan tetapi, disaat yang bersamaan juga akan terbentuk ammonia sehingga konsentrasi ammonia akan kembali bertambah. Reaksi yang terjadi:



Nilai konsentrasi oksigen terlarut (analisis DO atau *Dissolved Oxygen*) yang dibutuhkan untuk meremoval setiap gram  $\text{NH}_4\text{-N}$  pada proses nitrifikasi yaitu sebesar 3 g  $\text{O}_2$  (Hem *et al.*, 1993). Besar efisiensi removal ammonia-nitrogen dan *mass balance* removal ammonia-nitrogen setiap variasi konsentrasi COD lindi dapat dilihat pada Tabel 4.5 dan Tabel 4.6.

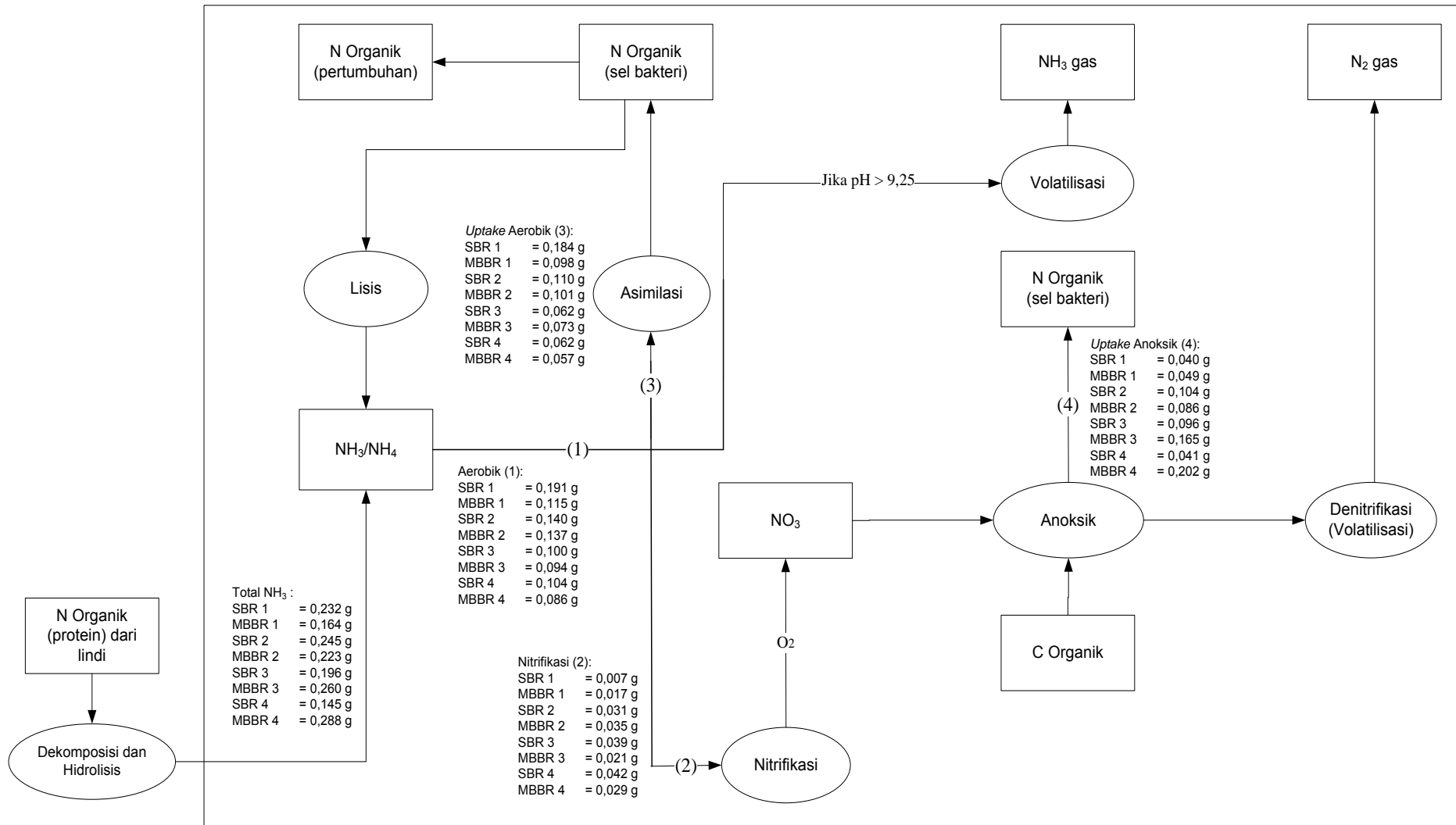
*Mass balance* removal ammonia-nitrogen yang terjadi di dalam reaktor dengan konsentrasi COD lindi 2000 mg/L dapat dilihat pada Gambar 4.11. Pada kondisi aerobik terjadi removal ammonia karena adanya proses nitrifikasi ammonia menjadi nitrat dan proses asimilasi oleh sel bakteri autotrofik (*uptake*), yang ditunjukkan oleh siklus (1). Nitrogen ammonia dapat diremoval langsung menjadi  $N_2$  gas apabila pH limbah di dalam reaktor lebih dari 9,25. Akan tetapi selama proses *running*, kondisi ini tidak terjadi karena pH limbah selalu berada kurang dari 9,25. Removal ammonia-nitrogen karena proses nitrifikasi ditunjukkan oleh siklus (2). Siklus (3) menunjukkan asimilasi ammonia oleh sel bakteri autotrofik (*uptake*) yang berupa ion ammonium ( $NH_4^+$ ). Siklus (4) menunjukkan adanya proses *uptake* ammonium oleh bakteri heterotrofik akibat kondisi anoksik di dalam reaktor (Metcalf dan Eddy, 2003).

Tabel 4.5 Efisiensi Removal Ammonia-Nitrogen (%)

	Efisiensi Removal NH <sub>3</sub> -N (%)														
	Konsentrasi COD Lindi 2000 mg/L					Konsentrasi COD Lindi 3500 mg/L					Konsentrasi COD Lindi 5000 mg/L				
	Aerobik+ Anoksik	Aerobik	Nitrifikasi	Uptake Aerobik	Uptake Anoksik	Aerobik+ Anoksik	Aerobik	Nitrifikasi	Uptake Aerobik	Uptake Anoksik	Aerobik+ Anoksik	Aerobik	Nitrifikasi	Uptake Aerobik	Uptake Anoksik
Reaktor SBR 1	72,95	60,20	2,22	57,99	12,75	51,25	37,71	37,71	0,00	13,53	75,42	43,11	3,14	39,97	32,31
Reaktor MBBR 1	46,17	32,44	4,75	27,68	13,73	79,07	73,82	15,99	57,83	5,25	74,49	40,63	4,39	36,25	33,85
Reaktor SBR 2	49,83	28,59	6,26	22,33	21,24	76,79	48,65	17,40	31,25	28,14	67,14	35,02	7,78	27,24	32,12
Reaktor MBBR 2	51,09	31,34	8,08	23,25	19,75	70,03	38,88	26,58	12,30	31,15	58,94	35,24	7,90	27,35	23,70
Reaktor SBR 3	56,90	29,08	11,17	17,92	27,82	75,28	62,34	18,53	43,81	12,94	70,21	37,92	5,09	32,84	32,29
Reaktor MBBR 3	57,17	20,73	4,67	16,06	36,43	69,73	32,62	12,28	20,35	37,11	54,82	39,83	4,12	35,71	14,98
Reaktor SBR 4	34,78	25,02	10,13	14,89	9,76	81,53	62,84	26,28	36,57	18,69	68,68	31,31	3,20	28,11	37,37
Reaktor MBBR 4	73,52	21,91	7,37	14,54	51,62	86,27	76,81	16,51	60,30	9,46	65,31	38,97	4,11	34,87	26,34

Tabel 4.6 Mass Balance Removal Ammonia-Nitrogen (gram/hari)

	Mass Balance Removal NH <sub>3</sub> -N (gram/hari)														
	Konsentrasi COD Lindi 2000 mg/L					Konsentrasi COD Lindi 3500 mg/L					Konsentrasi COD Lindi 5000 mg/L				
	Aerobik+ Anoksik	Aerobik	Nitrifikasi	Uptake Aerobik	Uptake Anoksik	Aerobik+ Anoksik	Aerobik	Nitrifikasi	Uptake Aerobik	Uptake Anoksik	Aerobik+ Anoksik	Aerobik	Nitrifikasi	Uptake Aerobik	Uptake Anoksik
Reaktor SBR 1	0,232	0,191	0,007	0,184	0,040	0,046	0,034	0,034	0,000	0,012	2,731	1,561	0,114	1,447	1,170
Reaktor MBBR 1	0,164	0,115	0,017	0,098	0,049	0,179	0,167	0,036	0,131	0,012	2,570	1,402	0,151	1,251	1,168
Reaktor SBR 2	0,245	0,140	0,031	0,110	0,104	0,161	0,102	0,036	0,065	0,059	2,537	1,323	0,294	1,029	1,213
Reaktor MBBR 2	0,223	0,137	0,035	0,101	0,086	0,093	0,052	0,035	0,016	0,041	2,168	1,296	0,290	1,006	0,872
Reaktor SBR 3	0,196	0,100	0,039	0,062	0,096	0,132	0,110	0,033	0,077	0,023	2,758	1,490	0,200	1,290	1,268
Reaktor MBBR 3	0,260	0,094	0,021	0,073	0,165	0,179	0,084	0,031	0,052	0,095	2,124	1,544	0,160	1,384	0,581
Reaktor SBR 4	0,145	0,104	0,042	0,062	0,041	0,166	0,128	0,053	0,074	0,038	2,590	1,181	0,121	1,060	1,409
Reaktor MBBR 4	0,288	0,086	0,029	0,057	0,202	0,159	0,142	0,030	0,111	0,017	2,464	1,471	0,155	1,316	0,994



Gambar 4.11 Mass Balance Removal Ammonia-Nitrogen pada Konsentrasi COD Lindi 2000 mg/L

#### 4.4.2.2 Hasil Penurunan Konsentrasi Nitrat-Nitrogen ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) dengan MBBR

Denitrifikasi biologis yang terjadi di dalam reaktor yaitu dengan mengaplikasikan jenis proses denitrifikasi berupa *postanoxic denitrification*. Proses aerobik dilakukan di awal kemudian dilanjutkan dengan proses anoksik. Kondisi aerobik dilakukan untuk mempersiapkan kecukupan oksigen terikat yang dibutuhkan pada proses anoksik. Ketika *postanoxic denitrification* memiliki laju reaksi yang lebih lambat dibandingkan dengan *preanoxic denitrification*. Hal ini dikarenakan proses denitrifikasi yang hanya bergantung pada respirasi *endogeneous* untuk mendapatkan energi (Metcalf dan Eddy, 2003).

Pembentukan nitrat-nitrogen merupakan hasil dari proses nitrifikasi, sedangkan penurunan konsentrasi nitrat-nitrogen dikarenakan oleh proses denitrifikasi pada kondisi anoksik (Suganda *et al.*, 2014). Pembentukan nitrat berlangsung pada pH optimal 7,0–8,3 dan pembentukan nitrat juga dapat sekaligus menurunkan nilai pH (Sawyer *et al.*, 2003). Pada penelitian ini, pembentukan nitrat-nitrogen sudah berada pada pH optimum pembentukan nitrat.

Pada konsentrasi COD lindi 2000 mg/L dalam kondisi aerobik, terjadi peningkatan konsentrasi nitrat-nitrogen paling optimum pada reaktor SBR 2 dan MBBR 2 yaitu masing-masing sebesar 21,52% dan 20,41%. Akan tetapi pada kondisi anoksik, removal nitrat-nitrogen yang paling optimum ditunjukkan oleh reaktor SBR 1 dan MBBR 1. Hal ini didukung dengan efisiensi removal nitrat-nitrogen karena proses denitrifikasi yang juga paling optimum pada reaktor SBR 1 dan MBBR 1 yaitu masing-masing sebesar 43,82% dan 39,59%. Hasil yang hampir sama juga ditunjukkan pada variasi konsentrasi COD lindi 5000 mg/L. Reaktor yang paling optimum dalam meremoval nitrat-nitrogen karena proses denitrifikasi ditunjukkan pada reaktor SBR 2 dan MBBR 2 dengan besar efisiensi removal sebesar 71,07% dan 69,28%.



Hasil yang berbeda ditunjukkan pada konsentrasi COD lindi 3500 mg/L. Efisiensi removal nitrat-nitrogen karena adanya proses anoksik memang ditunjukkan oleh reaktor SBR 1 dan MBBR 1 (20%-80%). Akan tetapi, apabila dilihat berdasarkan removal nitrat-nitrogen yang terjadi karena adanya proses denitrifikasi, maka efisiensi removal nitrat-nitrogen paling optimum justru ditunjukkan oleh reaktor SBR 4 dan MBBR 4 dengan durasi kondisi anoksik yang paling sedikit (80%-20%). Hal ini menunjukkan bahwa sebagian besar oksigen terikat yang terbentuk digunakan untuk oksidasi organik, bukan untuk denitrifikasi. Sehingga removal nitrat-nitrogen paling optimum terjadi pada durasi proses anoksik yang kecil (80%-20%).

Ketika proses aerobik berlangsung maka terjadi peningkatan nitrat yang merupakan hasil dari nitrifikasi. Kemudian pada proses anoksik terjadi denitrifikasi dan *uptake* nitrat oleh mikroorganisme. Di dalam kondisi aerobik, karena adanya proses nitrifikasi maka ammonium dioksidasi menjadi nitrat dan sekaligus sekitar 34 mg/L TN (Total Nitrogen) juga diremoval. Selanjutnya ketika masuk ke dalam kondisi anoksik maka nitrat direduksi menjadi  $N_2$  yang diikuti dengan penurunan konsentrasi TN dan organik (COD) secara bersamaan (Sun *et al.*, 2010). Nilai konsentrasi oksigen terlarut (analisis DO atau *Dissolved Oxygen*) pada proses denitrifikasi yaitu sebesar 1,5 mg  $O_2$ /L (Canziani *et al.*, 2006). Besar efisiensi peningkatan nitrat-nitrogen, efisiensi removal nitrat-nitrogen dan *mass balance* removal nitrat-nitrogen dapat dilihat pada Tabel 4.7 dan Tabel 4.8.

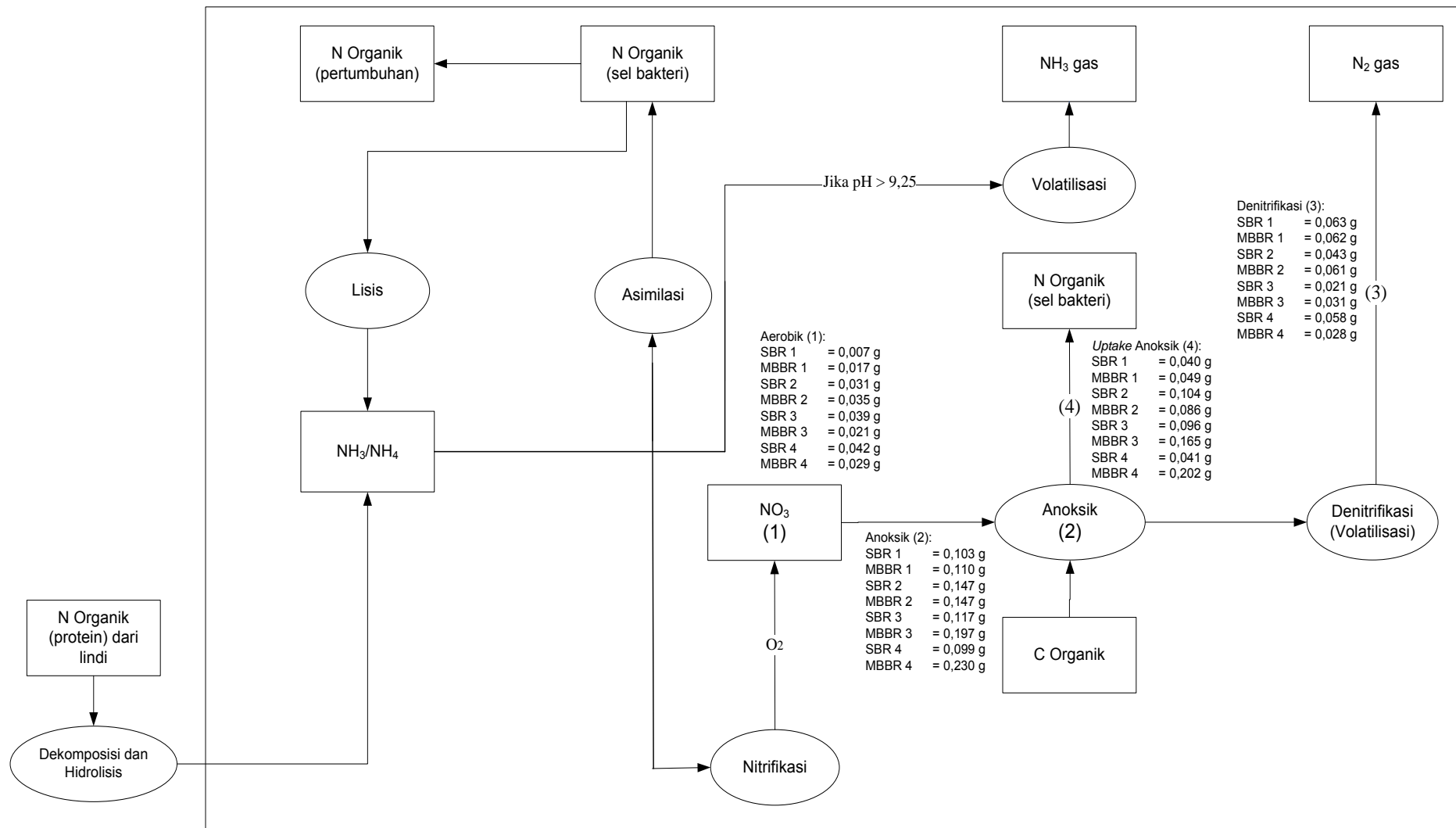
*Mass balance* removal nitrat-nitrogen yang terjadi di dalam reaktor dengan konsentrasi COD lindi 2000 mg/L dapat dilihat pada Gambar 4.12. Siklus (1) menunjukkan peningkatan konsentrasi nitrat-nitrogen karena adanya proses nitrifikasi pada kondisi aerobik. Total removal nitrat-nitrogen karena proses denitrifikasi menjadi  $N_2$  gas dan *uptake* anoksik dapat dilihat pada siklus (2). Pada kondisi anoksik terjadi proses denitrifikasi nitrat menjadi  $N_2$  gas dengan memanfaatkan bakteri heterotrofik, yang ditunjukkan pada siklus (3). Siklus (4) menunjukkan adanya proses *uptake* nitrat oleh sel bakteri akibat kondisi anoksik di dalam reaktor (Metcalf dan Eddy, 2003).

Tabel 4.7 Efisiensi Removal Nitrat-Nitrogen (%)

	Efisiensi Removal NO <sub>3</sub> -N (%)											
	Konsentrasi COD Lindi 2000 mg/L				Konsentrasi COD Lindi 3500 mg/L				Konsentrasi COD Lindi 5000 mg/L			
	Aerobik	Anoksik	Denitrifikasi	<i>Uptake</i> Anoksik	Aerobik	Anoksik	Denitrifikasi	<i>Uptake</i> Anoksik	Aerobik	Anoksik	Denitrifikasi	<i>Uptake</i> Anoksik
Reaktor SBR 1	4,94	60,81	43,82	16,99	42,49	75,73	59,60	16,13	45,63	37,08	30,95	6,13
Reaktor MBBR 1	10,87	47,57	39,59	7,98	32,72	69,15	56,10	13,05	54,07	56,38	49,52	6,86
Reaktor SBR 2	21,52	38,75	30,14	8,61	46,64	89,03	65,97	23,06	59,62	79,34	71,07	8,27
Reaktor MBBR 2	20,41	46,02	35,50	10,52	33,26	75,38	46,50	28,88	62,93	75,22	69,28	5,94
Reaktor SBR 3	22,24	28,63	12,37	16,26	36,30	74,81	55,03	19,78	49,23	67,85	60,43	7,42
Reaktor MBBR 3	18,82	38,71	27,74	10,97	26,41	86,15	63,67	22,48	48,81	59,96	56,89	3,07
Reaktor SBR 4	24,43	38,26	33,63	4,63	52,84	97,97	69,18	28,79	31,55	66,62	59,62	7,00
Reaktor MBBR 4	19,42	40,66	19,05	21,61	29,09	74,12	45,16	28,96	42,48	43,77	37,87	5,90

Tabel 4.8 *Mass Balance* Removal Nitrat-Nitrogen (gram/hari)

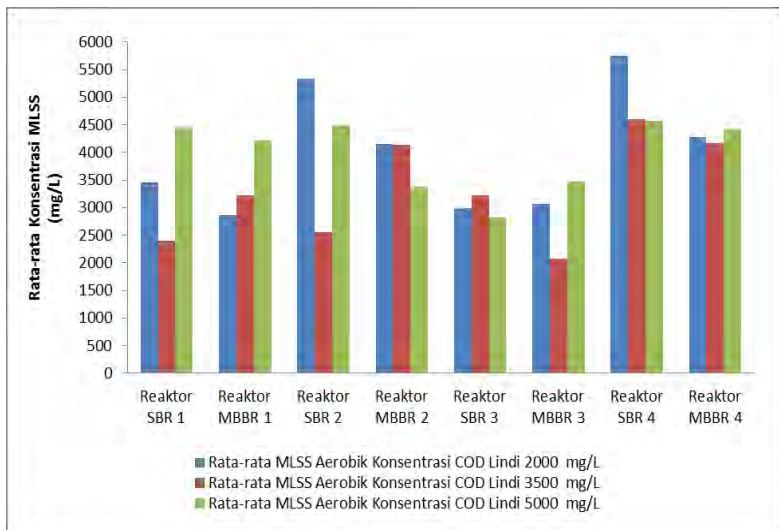
	<i>Mass Balance</i> Removal NO <sub>3</sub> -N (gram/hari)											
	Konsentrasi COD Lindi 2000 mg/L				Konsentrasi COD Lindi 3500 mg/L				Konsentrasi COD Lindi 5000 mg/L			
	Aerobik	Anoksik	Denitrifikasi	<i>Uptake</i> Anoksik	Aerobik	Anoksik	Denitrifikasi	<i>Uptake</i> Anoksik	Aerobik	Anoksik	Denitrifikasi	<i>Uptake</i> Anoksik
Reaktor SBR 1	0,007	0,103	0,063	0,040	0,068	0,107	0,095	0,012	0,114	1,247	0,077	1,170
Reaktor MBBR 1	0,017	0,110	0,062	0,049	0,036	0,074	0,062	0,012	0,151	1,307	0,139	1,168
Reaktor SBR 2	0,031	0,147	0,043	0,104	0,036	0,111	0,052	0,059	0,294	1,564	0,351	1,213
Reaktor MBBR 2	0,035	0,147	0,061	0,086	0,035	0,091	0,049	0,041	0,290	1,191	0,320	0,872
Reaktor SBR 3	0,039	0,117	0,021	0,096	0,033	0,072	0,049	0,023	0,200	1,514	0,245	1,268
Reaktor MBBR 3	0,021	0,197	0,031	0,165	0,031	0,171	0,076	0,095	0,160	0,767	0,186	0,581
Reaktor SBR 4	0,042	0,099	0,058	0,041	0,053	0,108	0,070	0,038	0,121	1,637	0,228	1,409
Reaktor MBBR 4	0,029	0,230	0,028	0,202	0,030	0,065	0,047	0,017	0,155	1,132	0,138	0,994



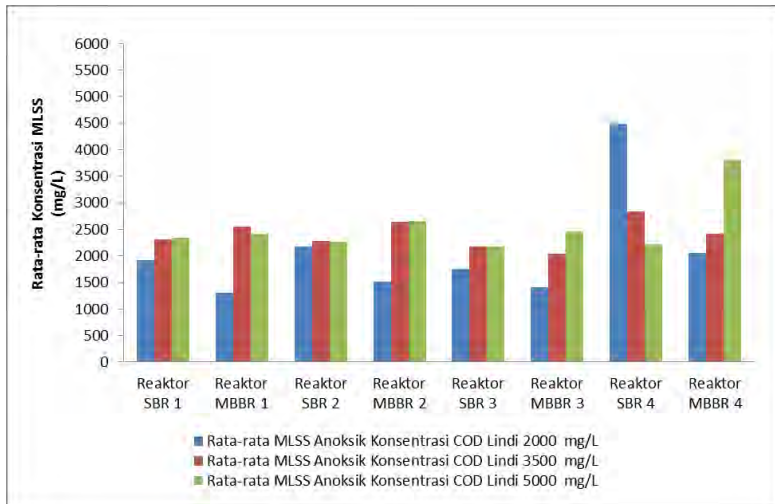
Gambar 4.12 Mass Balance Removal Nitrat-Nitrogen pada Konsentrasi COD Lindi 2000 mg/L

#### 4.4.3 Analisis Biomassa sebagai MLSS

MLSS merupakan jumlah padatan organik dan mineral yang tersuspensi, termasuk mikroorganisme di dalam larutan yang tercampur, MLVSS merupakan bagian organik dari MLSS (Gracia *et. al.*, 2006). Pada penelitian ini analisis MLSS dilakukan dua kali dalam setiap siklus. Ketersediaan mikroorganisme di dalam reaktor dapat diketahui melalui pengukuran MLSS. Selain itu, pengukuran biomassa dengan jumlah MLVSS juga dilakukan untuk mengetahui besar perbandingan jumlah makanan atau organik dengan mikroorganisme yang tersedia (rasio F/M) di dalam reaktor.



Gambar 4.13 Konsentrasi MLSS pada Kondisi Aerobik



Gambar 4.14 Konsentrasi MLSS pada Kondisi Anoksik

Pada kondisi reaktor yang mengaplikasikan proses aerobik-anoksik maupun hanya proses aerobik saja akan memungkinkan untuk memproduksi lumpur. Proses aerobik dapat meningkatkan konsentrasi MLSS yang disebabkan oleh pertumbuhan dan perkembangbiakan mikroorganisme. Salah satu faktor yang mempengaruhi pertumbuhan mikroorganisme adalah nilai pH (Romli *et al.*, 2004).

Berdasarkan Gambar 4.13 dan Gambar 4.14 menunjukkan bahwa kondisi aerobik cenderung dapat mempertahankan konsentrasi MLSS di dalam reaktor. Hal ini terlihat dari nilai rata-rata konsentrasi MLSS pada kondisi aerobik yang lebih baik dari pada kondisi anoksik. Pada kondisi aerobik, hasil paling baik ditunjukkan pada reaktor SBR 4 dan MBBR 4 yang memiliki durasi proses aerobik-anoksik 80%-20%. Reaktor SBR 4 dan MBBR 4 memiliki rata-rata konsentrasi biomassa (MLSS) yang selalu berada di rentang tipikal pengoperasian MBBR yaitu sebesar 3500-4000 mg/L di semua variasi konsentrasi lindi. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Klimiuk dan Kulikowska (2006), yang menunjukkan bahwa reaktor yang dioperasikan dengan durasi proses aerobik yang lama akan

menghasilkan lumpur lebih banyak, sedangkan reaktor dengan proses aerobik yang singkat cenderung dapat menyebabkan penurunan konsentrasi biomassa di reaktor tersebut, sebagai hasil dari peluruhan atau pembusukan sel. Media yang berada di dalam reaktor aerobik juga menyediakan *surface* yang luas untuk mikroorganisme tinggal dan terakumulasi sehingga konsentrasi biomassa yang didapatkan tinggi (Chen *et al.*, 2008).

Pada kondisi anoksik, rata-rata konsentrasi MLSS di setiap reaktor mengalami penurunan. Hal ini dapat disebabkan karena terjadi respirasi *endogenous* yaitu penggunaan oksigen terikat ( $\text{NO}_3$ ) sebagai aseptor elektron untuk mengoksidasi senyawa organik selain lindi, yang di dalam hal ini adalah mikroorganisme itu sendiri. Mikroorganisme akan cenderung mendegradasi senyawa organik yang memiliki komposisi organik lebih sederhana. Mikroorganisme memiliki komposisi organik (sel organik) yang lebih sederhana dibandingkan dengan komposisi organik lindi sehingga pada proses anoksik ini mikroorganisme justru saling mendegradasi, antar mikroorganisme yang satu dengan yang lainnya (Metcalf dan Eddy, 2003). Akan tetapi, pada reaktor SBR 4 dan MBBR 4 tetap menunjukkan hasil yang paling baik. Hal ini dapat dilihat dari nilai biomassa yang tetap mampu dipertahankan sehingga sesuai dengan rentang tipikal MBBR (minimal  $\pm 3500$  mg/L). Menurut Filali *et al.*, (2012), bahwa kondisi aerobik-anoksik dapat mempertahankan nilai konsentrasi MLSS dan juga nitrifikasi yang terjadi di dalam reaktor agar tetap stabil sesuai dengan rentang tipikal pengoperasian MBBR. Tingginya akumulasi dari biomassa di dalam proses biofilm menunjukkan kapasitas pengolahan yang tinggi dan operasional yang stabil, membuat proses MBBR lebih baik dan menjanjikan untuk diaplikasikan di dalam pengolahan air limbah dengan konsentrasi yang tinggi (Chen *et al.*, 2008).

#### **4.4.4 Analisis Rasio C/N**

Proses biodegradasi yang terjadi di dalam air limbah dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu temperatur, pH, kandungan air, dan nutrisi yang tersedia (Baker dan Harson, 1994; Udiharto, 1996). Salah satu faktor yang mempengaruhi

tersebut yaitu adanya ketersediaan nutrisi untuk mikroorganisme. Nutrisi merupakan faktor yang berpengaruh besar dalam proses sintesis dan pertumbuhan sel, serta dalam aktivitas enzim yang dihasilkan oleh bakteri untuk mendegradasi polutan. Beberapa nutrisi penting yang dibutuhkan mikroorganisme adalah karbon dan nitrogen. Pada dasarnya semua mikroorganisme memerlukan karbon sebagai sumber energi untuk melakukan aktivitasnya. Nitrogen juga merupakan penyusun senyawa-senyawa penting dalam sel yang menentukan aktivitas pertumbuhan mikroorganisme. Kedua unsur ini harus ada dalam rasio yang tepat agar tercapai pertumbuhan bakteri yang optimal. Nilai rasio C/N yang rendah (kandungan unsur N yang tinggi) akan meningkatkan emisi dari nitrogen sebagai ammonium yang dapat menghalangi perkembangbiakan bakteri. Sedangkan, nilai rasio C/N yang tinggi (kandungan unsur N yang relatif rendah) akan menyebabkan proses degradasi berlangsung lebih lambat karena nitrogen akan menjadi faktor penghambat (*growth-rate limiting factor*) (Alexander, 1994).

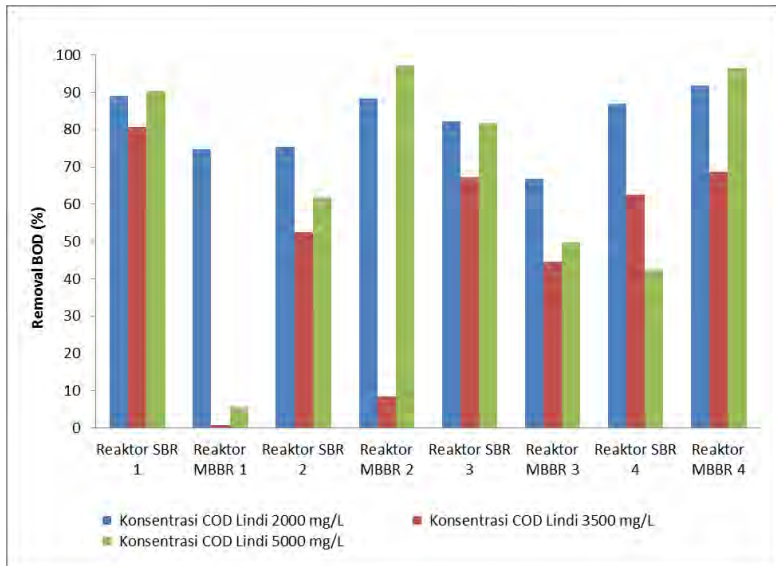
Rasio C/N tergantung dari kontaminan yang ingin didegradasi, bakteri serta dari jenis nitrogen yang digunakan. Pada penelitian ini nilai C yang digunakan berasal dari hasil konversi nilai konsentrasi COD ke nilai konsentrasi TOC (*Total Organic Compound*) (LAMPIRAN C), dan nilai N yang digunakan berasal dari konsentrasi TN ( $\text{NH}_3\text{N} + \text{NO}_3\text{N}$ ). Nilai rata-rata rasio C/N proses aerobik yang ada pada penelitian ini untuk variasi konsentrasi COD lindi 2000 mg/L, 3500 mg/L dan 5000 mg/L yaitu masing-masing sebesar 2,17, 4,47, dan 0,87. Beberapa penelitian yang mengaplikasikan proses aerobik di dalam pengolahan biologis menunjukkan bahwa rasio C/N optimum untuk proses biodegradasi adalah 10 atau 100:10 (Shewfelt *et al.*, 2005). Hal ini menunjukkan bahwa memang sejak awal nilai rasio C/N pada penelitian ini kurang dari kriteria optimum yang dibutuhkan untuk proses biodegradasi. Karena konsentrasi nitrogen pada lindi yang sejak awal tinggi sehingga menjadi toksik bagi mikroorganisme, sedangkan nilai rata-rata rasio C/N proses anoksik pada penelitian ini untuk variasi konsentrasi COD lindi 2000 mg/L, 3500 mg/L dan 5000 mg/L yaitu masing-masing sebesar 4,35, 9,11, dan 1,38. Menurut Herlambang dan Marsidi

(2003) bahwa nilai rasio C/N untuk pengolahan limbah yang mengaplikasikan kondisi anoksik di dalamnya yaitu sebesar  $> 2,65$ . Pada variasi konsentrasi COD lindi 2000 mg/L dan 3500 mg/L menunjukkan bahwa mikroorganisme sudah optimum melakukan proses degradasi pada kondisi anoksik. Hal ini menunjukkan bahwa proses aerobik di awal pengolahan memang bertujuan untuk menurunkan konsentrasi nitrogen dalam lindi sehingga pada kondisi anoksik mikroorganisme akan optimum untuk mendegradasi lindi tersebut. Selain itu, ini juga didukung dengan nilai efisiensi removal zat organik pada variasi konsentrasi 3500 mg/L yang paling baik, sesuai dengan nilai rasio C/N yang paling baik ( $> 2,65$  dan paling mendekati 10).

#### **4.4.5 Analisis BOD, COD dan BOD/COD**

Analisis BOD merupakan parameter tambahan di dalam penelitian ini sehingga analisisnya dilakukan hanya pada siklus pertama (hari ke-0) dan siklus kelima (hari ke-12) yaitu pada tahap sebelum proses aerasi. Nilai BOD yang digunakan pada penelitian ini adalah nilai  $BOD_5$ . Hasil analisis laboratorium menunjukkan konsentrasi BOD sampel yang tergolong rendah. Konsentrasi BOD yang rendah dapat disebabkan karena konsentrasi ammonia yang tinggi pada sampel di setiap reaktor sehingga bersifat toksik. Akan tetapi, konsentrasi BOD yang rendah juga dapat membuat proses nitrifikasi cepat dan lengkap (Sun *et al.*, 2010).





Gambar 4.15 Efisiensi Removal BOD

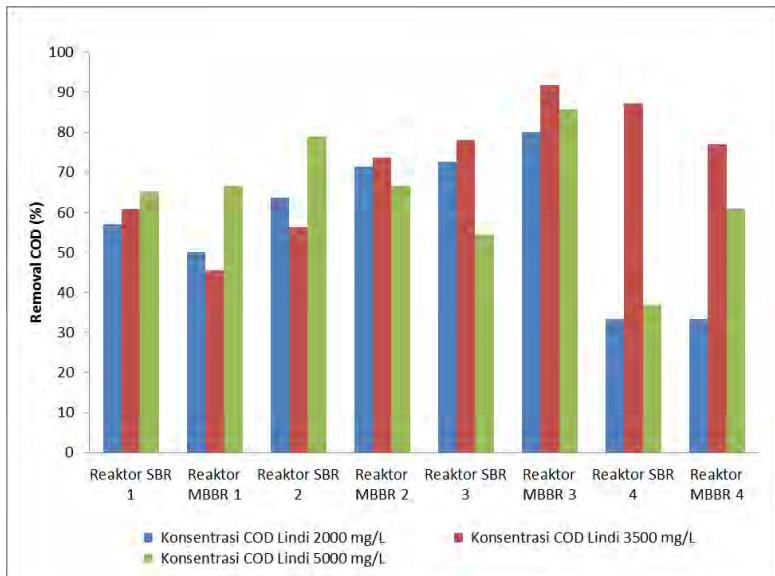
Berdasarkan Gambar 4.15, rata-rata efisiensi removal BOD untuk variasi konsentrasi COD lindi sebesar 2000 mg/L secara umum menunjukkan hasil yang paling baik, yaitu sebesar 81,92%. Hal ini sesuai dengan kemampuan mikroorganisme yang dapat mendegradasi bahan organik dengan cepat pada konsentrasi yang rendah. Reaktor SBR 4 dan MBBR 4 menunjukkan kinerja yang paling baik. Akan tetapi, pada konsentrasi 3500 mg/L, rata-rata efisiensi removal BOD menurun hingga hanya sekitar 48,18%. Hal ini menunjukkan bahwa kenaikan konsentrasi lindi mempengaruhi proses degradasi bahan organik oleh mikroorganisme, terlihat dari besar efisiensi removal yang menurun drastis pada reaktor MBBR 1, sedangkan pada kondisi reaktor dengan kondisi aerobik-anoksik sebesar 80%-20% menunjukkan hasil yang cukup baik, meskipun besar efisiensi removalnya menurun sekitar 20%, yaitu dari 86,93% menjadi 62,50% pada SBR 4 dan 91,72% menjadi 68,8% pada MBBR 4.

Reaktor yang terbaik pada konsentrasi COD lindi 3500 mg/L adalah reaktor SBR 4 dan MBBR 4, dengan besar efisiensi

removal sebesar 62,5% dan 68,8%. Karena pada reaktor SBR 4 dan MBBR 4, menunjukkan nilai efisiensi removal yang optimum dan tidak jauh berbeda antara reaktor SBR dan MBBR nya. Pada reaktor ini juga menunjukkan besar efisiensi removal ammonia-nitrogen yang paling baik. Hal ini dapat menunjukkan bahwa ammonia-nitrogen yang tinggi mempengaruhi kemampuan mikroorganisme dalam mendegradasi bahan organik, sehingga ketika penurunan konsentrasi ammonia-nitrogen besar maka kemampuan degradasi organik oleh mikroorganisme akan meningkat. Penelitian yang dilakukan oleh Chen *et al.*, (2008) juga menunjukkan hal serupa, yaitu semakin besar removal ammonia-nitrogen yang berhasil dilakukan oleh reaktor MBBR maka semakin besar juga efisiensi removal bahan organik yang dapat dilakukan oleh mikroorganisme.

Pada konsentrasi COD lindi 5000 mg/L, rata-rata efisiensi removal BOD meningkat menjadi 65,66%. Pada konsentrasi lindi ini besar efisiensi removal BOD pada MBBR mencapai 97%. Reaktor yang memiliki hasil optimum ditunjukkan pada reaktor SBR 2 dan MBBR 2 dengan durasi proses aerobik-anoksik 40%-60%. Hal ini menunjukkan bahwa mikroorganisme sudah mulai beradaptasi pada konsentrasi yang lebih tinggi sehingga besar efisiensi removal BOD SBR 2 dan MBBR 2 masing-masing sebesar 61,93% dan 97,09%. Hal ini membuktikan bahwa MBBR dapat mengolah konsentrasi organik yang tinggi.

Analisis COD juga merupakan parameter tambahan di dalam penelitian ini. Analisis COD dilakukan sebanyak dua kali yaitu pada awal siklus (hari ke-0 dan hari ke-2) dan akhir siklus (hari ke-12 dan hari ke-14). Pengambilan sampel ini dilakukan pada tahap sebelum proses aerasi dan tahap setelah proses anoksik. Konsentrasi COD lindi 3500 mg/L secara umum memiliki efisiensi removal COD yang paling baik jika dibandingkan dengan variasi konsentrasi lindi lainnya. Efisiensi removal COD yang paling baik ini sesuai dengan hasil efisiensi removal zat organik berdasarkan hasil penurunan konsentrasi COD. Hasil yang hampir sama juga terlihat pada konsentrasi 2000 mg/L dan 5000 mg/L. SBR 3 dan MBBR 3 menunjukkan hasil yang paling optimum dalam removal COD untuk setiap variasi konsentrasi lindi.

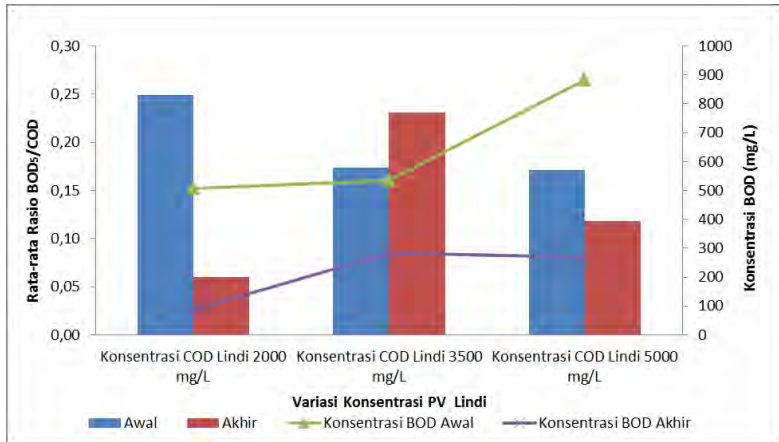


Gambar 4.16 Efisiensi Removal COD

Pada konsentrasi 3500 mg/L, %removal COD terbaik terjadi pada reaktor SBR 3 dan MBBR 3 (60%-40) yaitu masing-masing sebesar 78,05% dan 91,8%. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Chen *et al.*, (2008) yaitu proses MBBR dapat lebih mudah dioperasikan pada OLR (*Organic Loading Rate*) yang tinggi jika dibandingkan dengan reaktor sistem *suspended growth*. Removal COD yang tinggi di dalam reaktor MBBR dapat dicapai pada OLR yang juga tinggi. Pada durasi proses aerobik-anoksik 60%-40% diperoleh besar efisiensi removal COD yang mencapai 92%-95%.

Berdasarkan hasil analisis BOD dan COD dari hari ke-0 hingga ke-44 menunjukkan rasio BOD/COD kurang dari 0,4 (Gambar 4.17). Nilai rasio BOD/COD yang rendah menunjukkan bahwa organik persisten terhadap pengolahan biologis (Kulikowska dan Bernat, 2013). Pada konsentrasi 2000 mg/L, rata-rata rasio BOD/COD awal sebesar 0,249 kemudian menurun menjadi 0,060. Hal ini disebabkan karena aktivitas mikroorganisme yang

tinggi sehingga masih mampu mendegradasi zat organik. Hasil yang hampir sama juga ditunjukkan pada konsentrasi 5000 mg/L.



Gambar 4.17 Rasio BOD/COD

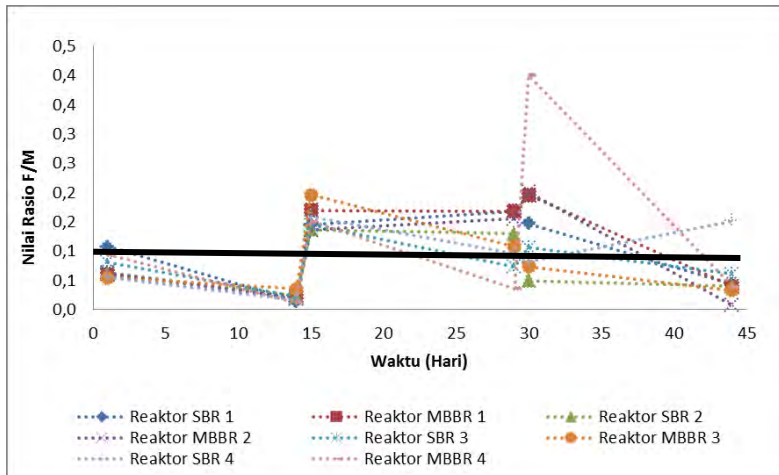
Akan tetapi, pada konsentrasi 3500 mg/L rata-rata rasio BOD/COD awal sebesar 0,173 kemudian naik menjadi 0,231. Hal ini terjadi dapat disebabkan oleh dua alasan yaitu yang pertama karena nilai *biodegradable* dari senyawa organik lindi yang sudah tergolong kecil (rasio BOD/COD hasil analisis karakteristik awal lindi < 0,05) akibat konsentrasi ammonia-nitrogen yang tinggi, dan yang kedua karena kemungkinan besar masih terkandung ammonia-nitrogen yang terbaca dalam pengukuran BOD. Pengukuran BOD akan menunjukkan hasil pengukuran dari dua nilai yaitu karbon *biodegradable* (cBOD) dan nitrogen *biodegradable* (nBOD) sehingga apabila nilai nBOD yang banyak terbaca di dalam pengukuran BOD (akibat konsentrasi ammonia-nitrogen yang tinggi) maka nilai BOD yang dihasilkan akan tinggi. Hal ini dapat menyebabkan nilai rasio BOD/COD meningkat. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Whittmann *et al.* (1995), bahwa konsentrasi ammonia yang tinggi mempengaruhi fisiologi bakteri seperti terjadinya peningkatan energi untuk pertumbuhan, terjadinya perubahan pH di dalam sel dan menghambat reaksi enzimatik sehingga aktivitas mikroorganisme akan menurun.

#### 4.4.6 Analisis Rasio F/M

Sebuah parameter proses yang biasanya digunakan untuk mendesain karakteristik proses dan keadaan operasi yaitu rasio makanan (BOD) per mikroorganisme (biomassa atau MLVSS). Nilai tipikal untuk rasio F/M berdasarkan kebanyakan literatur yaitu sebesar 0,04-1,0 g organik/g biomassa.hari untuk sebuah proses aerasi yang tergolong *high rate process* (Metcalf dan Eddy, 2003). Berdasarkan hasil analisis menunjukkan bahwa pada konsentrasi 2000 mg/L rasio F/M disemua reaktor mengalami penurunan sehingga menjadikan nilai rasio F/M pada setiap reaktor berada dibawah nilai tipikal batas minimum rasio F/M. Nilai rasio F/M yang turun ditandai dengan jumlah mikroorganisme yang sudah sesuai untuk degradasi polutan.

Akan tetapi, pada konsentrasi 3500 mg/L nilai rasio F/M mengalami peningkatan dibeberapa reaktor. Hal ini menunjukkan bahwa mikroorganisme mengalami repirasi *endogenous*. Hasil ini didukung dengan nilai rata-rata konsentrasi MLSS yang awalnya sebesar 3295 mg/L, kemudian diakhir siklus menurun menjadi 2413 mg/L. Ketika konsentrasi COD lindi dinaikkan menjadi 5000 mg/L, jumlah reaktor yang mengalami peningkatan nilai rasio F/M menjadi berkurang. Hanya reaktor SBR 4 yang mengalami peningkatan.

Rata-rata nilai rasio F/M terbaik dari variasi konsentrasi COD lindi 2000-5000 mg/L ditunjukkan oleh reaktor MBBR 3 dengan durasi proses aerobik-anoksik sebesar 60%-40%. Hal ini mengindikasikan bahwa bakteri aerobik dan bakteri anoksik memiliki kemampuan aktivitas yang hampir sama. Jadi, dengan menambahkan proses pengadukan di dalam MBBR dapat membuat kontak antara lumpur, biofilm dan kontaminan, sedangkan proses difusi yang kurang baik akan menjadi keuntungan dalam meremoval zat organik. Sehingga ini sangat memungkinkan untuk mengaplikasikan proses MBBR untuk mengolah lindi, meskipun dengan proporsi konsentrasi COD *non-biodegradable* yang tinggi (Chen *et al.*, 2008). Besar rasio F/M dari setiap reaktor dapat dilihat pada Gambar 4.18.



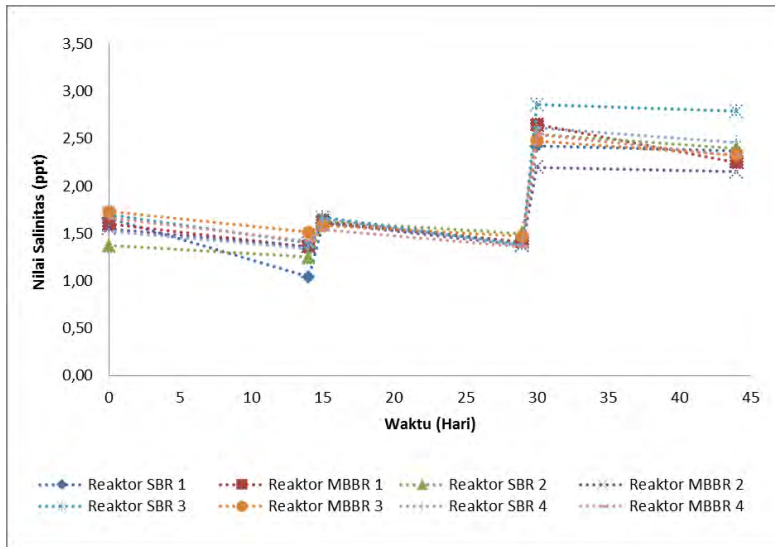
Gambar 4.18 Rasio F/M

#### 4.4.7 Analisis Salinitas

Analisis salinitas merupakan parameter tambahan di dalam penelitian ini. Pengukuran salinitas dilakukan pada awal siklus (hari ke-0) dan akhir siklus (hari ke-12). Pengukuran salinitas dengan menggunakan *pH onlab-EC 10*. Salinitas dibutuhkan mikroorganisme dalam jumlah kecil sehingga MBBR tidak memberikan pengaruh terhadap penurunan salinitas. Unsur utama dalam salinitas adalah klorida ( $\text{Cl}^-$ ) yang merupakan bahan anorganik. Klorida tidak diserap oleh mikroorganisme, sehingga berdasarkan hasil penelitian ini, tidak terjadi penurunan nilai salinitas yang berarti.

Hasil pengukuran nilai salinitas dari setiap reaktor yaitu berkisar antara 1,04-2,86 ppt. Nilai salinitas tersebut tergolong kondisi *oligahaline* yang termasuk sebagai kondisi air payau dengan salinitas terkecil (Gufhran, 2007). Sehingga nilai salinitas tidak mempengaruhi proses biologis yang ada di dalam reaktor. Akan tetapi, jika nilai salinitas yang tinggi dapat menyebabkan terjadinya plasmolisis pada mikroorganisme. Selain itu, nilai salinitas yang tinggi akan menyebabkan bakteri tidak dapat

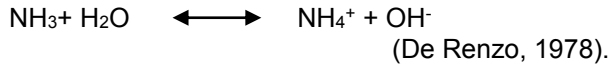
mendegradasi bahan organik, bahkan dapat menyebabkan kematian pada bakteri (Ristanto, 2011). Nilai salinitas dapat dilihat pada Gambar 4.19.



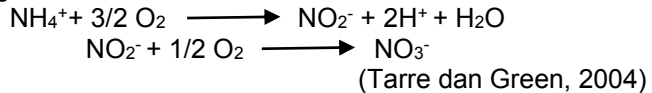
Gambar 4.19 Nilai Salinitas

#### 4.4.8 Analisis pH

Analisis pH merupakan parameter tambahan di dalam penelitian ini. Pengukuran pH dilakukan pada awal siklus (hari ke-0) dan akhir siklus (hari ke-12). Pengukuran pH menggunakan *Basic pH meter 03771 Denver Instrument*. Nilai pH disetiap reaktor selama kegiatan *running* berlangsung yaitu berkisar antara 7,64-8,94. Pada konsentrasi COD lindi 2000 mg/L dan 5000 mg/L, nilai pH setiap reaktor cenderung mengalami penurunan, kemudian pada konsentrasi 3500 mg/L mengalami kenaikan. Kenaikan nilai pH ini dapat diakibatkan dari perubahan bentuk ammonia-nitrogen menjadi bentuk ionnya yang berupa ammonium jika terlarut di dalam air. Sehingga ion  $\text{OH}^-$  di dalam limbah akan menjadi naik yang berdampak pada naiknya nilai pH sebagaimana reaksi berikut:

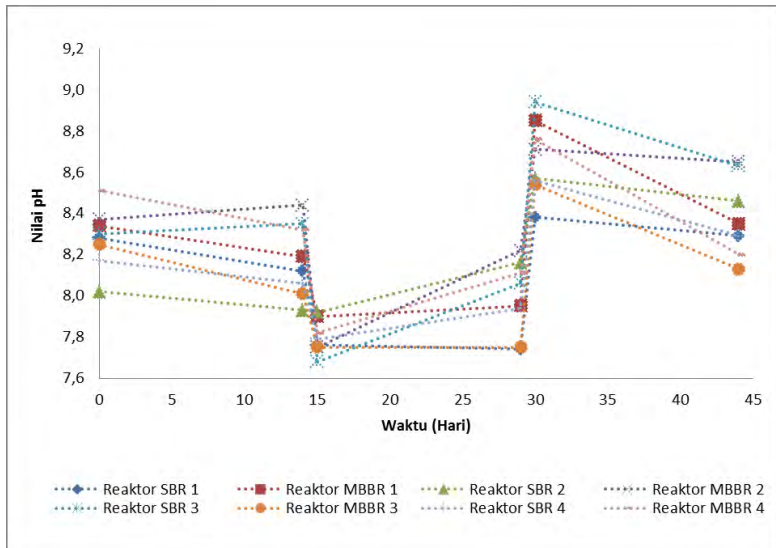


Selain itu, nilai pH di dalam reaktor juga dapat mengalami penurunan jika terjadi proses pembentukan nitrat (Sawyer *et al.*, 2003), dengan reaksi:



Reaksi di atas menunjukkan bahwa setiap mol ammonium yang dioksidasi akan memproduksi 2 mol ion hidrogen, yang hasilnya akan menurunkan nilai pH pada lingkungan yang nilai buffernya rendah (Tarre dan Green, 2004). Hal ini menunjukkan bahwa bakteri autotrofik yang ada pada proses nitrifikasi sangat sensitif terhadap nilai pH. Akan tetapi, kenaikan dan penurunan nilai pH pada semua variasi konsentrasi lindi tidak signifikan, nilainya relatif hampir sama dan masih berada pada kisaran nilai pH netral. Nilai pH di dalam setiap reaktor masih termasuk ke dalam rentang pH yang baik untuk pertumbuhan dan perkembangbiakan bakteri. Nilai pH tersebut yaitu 6,5-7,5 dan berada pada suhu 25°C-35°C (Said, 2002). Nilai pH optimum untuk proses nitrifikasi berkisar antara pH 7-8, apabila pH berada kurang dari 6,5 maka tidak akan terjadi pertumbuhan bakteri autotrofik (bakteri nitrifikasi) (Tarre dan Green, 2004). Pada penelitian ini nilai pH yang ditunjukkan oleh reaktor SBR 4 dan MBBR 4 sebesar 7,79-8,11 yang termasuk pada rentang pH optimum proses nitrifikasi sehingga memiliki besar efisiensi removal ammonia-nitrogen paling baik. Hal ini menunjukkan mikroorganisme yang berkembang dengan baik adalah bakteri nitrifikasi (autotrofik) atau mikroorganisme aerobik obligat (Metcalf dan Eddy, 2003). Nilai pH di setiap reaktor dapat dilihat pada Gambar 4.20.





Gambar 4.20 Nilai pH

#### 4.4.9 Analisis Alkalinitas

Analisis alkalinitas merupakan parameter tambahan di dalam penelitian ini. Alkalinitas adalah kemampuan air untuk menetralkan tambahan asam tanpa menurunkan nilai pH larutan. Sama halnya dengan larutan *buffer*, alkalinitas merupakan kemampuan pertahanan air terhadap pengasaman.

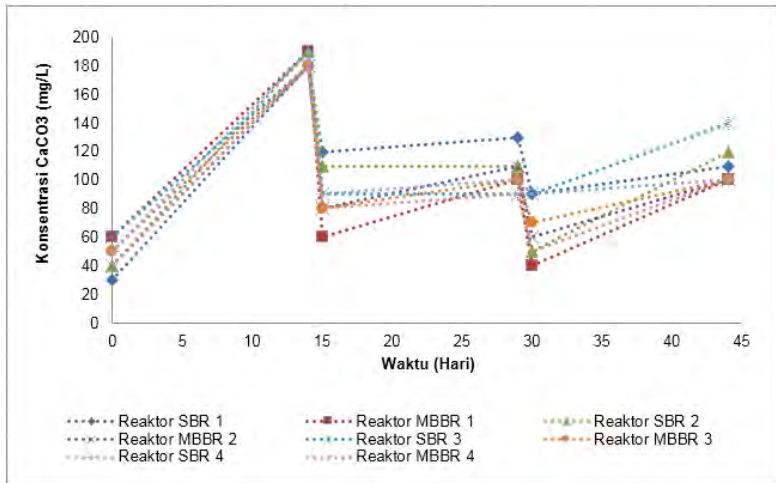
Berdasarkan Gambar 4.21, nilai alkalinitas pada setiap variasi konsentrasi COD lindi, rata-rata mengalami kenaikan disetiap reaktor. Nilai alkalinitas yang naik terjadi karena terbentuknya ammonia-nitrogen di dalam reaktor. Penggunaan alkalinitas menyebabkan laju ammonia maupun oksigen menjadi terbatas untuk proses nitrifikasi pada beban organik yang rendah (Hem *et al.*, 1993).

Apabila dengan mengabaikan adanya jaringan sel mikroorganisme, jumlah alkalinitas diperlukan untuk melakukan reaksi seperti:



Reaksi di atas menunjukkan bahwa untuk setiap gram ammonia-nitrogen yang dikonversi, dibutuhkan 7,14 gram alkalinitas dalam bentuk  $\text{CaCO}_3$  (Metcalf dan Eddy, 2003). Reaktor dengan sistem SBR maupun MBBR memiliki dua keuntungan yaitu tidak menghasilkan konsentrasi nitrat yang tinggi dan alkalinitas yang diproduksi mampu menetralkan asam pada influen, dengan memproduksi pH yg cocok (Miao *et al.*, 2014).

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Sun *et al.* (2015) bahwa kehilangan alkalinitas oleh proses nitrifikasi yang terjadi di dalam reaktor dapat secara efektif dikembalikan oleh proses denitrifikasi atau ketika kondisi anoksik. Karena pada proses denitrifikasi, setiap 3,57 gram alkalinitas yang diproduksi setara dengan per gram nitrat yang direduksi. Jadi, melalui proses denitrifikasi kira-kira setengah hingga seluruh dari jumlah alkalinitas yang digunakan oleh proses nitrifikasi dapat dikembalikan.



Gambar 4.21 Nilai Alkalinitas (Konsentrasi  $\text{CaCO}_3$ )

#### 4.5 Penentuan Pengaruh Beban Organik Terhadap Parameter Organik dan Nitrogen

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, kemudian dilakukan analisis dengan menggunakan metode statistika untuk mengetahui pengaruh antara kenaikan beban organik terhadap parameter organik (parameter COD), nitrogen (parameter ammonia-nitrogen dan nitrat-nitrogen), rasio F/M dan rasio BOD/COD. Ada dua tahapan untuk menentukan parameter yang paling berpengaruh. Tahap pertama yaitu menentukan parameter apa saja yang berpengaruh terhadap kenaikan konsentrasi lindi. Setelah diketahui parameter yang berpengaruh kemudian dilanjutkan dengan tahap kedua yaitu menentukan pengaruh dari beban organik (berdasarkan nilai COD) yang dikategorikan ke dalam jenis *low rate* sebesar 2000 mg/L, *medium rate* sebesar 3500 mg/L dan *high rate* sebesar 5000 mg/L terhadap parameter yang berpengaruh tersebut.

Tahap pertama yang dilakukan yaitu dengan menggunakan uji ANOVA (*Analysis of Variance*) yang bertujuan untuk mengetahui apakah kenaikan konsentrasi lindi berpengaruh terhadap parameter yang digunakan. Uji ANOVA dilakukan dengan menggunakan *one-way* ANOVA. Program yang digunakan untuk uji ANOVA ini yaitu *software* SPSS 16 dengan tingkat signifikansi ( $\alpha$ ) 95%. Adapun hipotesis uji ANOVA yang dilakukan seperti berikut:

Hipotesis:

$$H_0 : t_1 = t_2 = t_3 = 0$$

$H_1$  : paling sedikit ada satu  $t_i \neq 0$

$$\alpha = 0,05.$$

Hasil *running* dengan menggunakan program SPSS dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Hasil Uji ANOVA dengan Program SPSS 16

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
TN	Between Groups	1733.685	2	866.843	9.446	.001
	Within Groups	1927.208	21	91.772		

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
	Total	3660.893	23			
TN aerobik	Between Groups	754.691	2	377.346	4.026	.034
	Within Groups	1874.413	20	93.721		
	Total	2629.104	22			
TN anoksik	Between Groups	655.990	2	327.995	3.547	.047
	Within Groups	1941.909	21	92.472		
	Total	2597.899	23			
COD	Between Groups	842.858	2	421.429	3.555	.047
	Within Groups	2489.431	21	118.544		
	Total	3332.289	23			
COD aerobik	Between Groups	140.885	2	70.442	.557	.581
	Within Groups	2657.671	21	126.556		
	Total	2798.556	23			
COD anoksik	Between Groups	898.908	2	449.454	2.352	.120
	Within Groups	4013.298	21	191.109		
	Total	4912.206	23			
NO <sub>3</sub>	Between Groups	5736.476	2	2868.238	21.634	.000
	Within Groups	2784.240	21	132.583		
	Total	8520.716	23			
NO <sub>3</sub> aerobik	Between Groups	4040.070	2	2020.035	26.995	.000
	Within Groups	1571.432	21	74.830		
	Total	5611.503	23			
NO <sub>3</sub> anoksik	Between Groups	3597.171	2	1798.585	13.939	.000
	Within Groups	2709.654	21	129.031		
	Total	6306.825	23			
NH <sub>3</sub>	Between Groups	1390.051	2	695.025	6.208	.008
	Within Groups	2351.224	21	111.963		
	Total	3741.275	23			
NH <sub>3</sub> aerobik	Between Groups	2254.046	2	1127.023	7.336	.004
	Within Groups	3226.251	21	153.631		
	Total	5480.297	23			
NH <sub>3</sub> anoksik	Between Groups	615.468	2	307.734	1.539	.238

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
	Within Groups	4197.864	21	199.898		
	Total	4813.332	23			
COD	Between Groups	738.349	2	369.174	1.410	.266
	Within Groups	5500.159	21	261.912		
	Total	6238.508	23			
BOD/COD	Between Groups	42597.085	2	21298.542	6.492	.006
	Within Groups	68896.952	21	3280.807		
	Total	111494.036	23			
F/M	Between Groups	74562.584	2	37281.292	3.280	.058
	Within Groups	238699.198	21	11366.628		
	Total	313261.782	23			

Berdasarkan hasil *output* SPSS 16, maka dapat diketahui bahwa hanya nilai parameter COD, ammonia-nitrogen dan nitrat-nitrogen yang berpengaruh signifikan terhadap kenaikan konsentrasi lindi. Hal ini dapat dilihat dari nilai signifikansi hasil analisis ANOVA yang berada pada nilai  $\leq 0,05$ . Selanjutnya melihat apakah kenaikan konsentrasi lindi *low rate*, *medium rate* dan *high rate* berpengaruh terhadap parameter COD, ammonia-nitrogen dan nitrat-nitrogen dengan menggunakan uji Tukey. Uji Tukey dilakukan dengan cara membandingkan konsentrasi COD lindi *low rate* dengan konsentrasi COD lindi yang lainnya (*medium rate* dan *high rate*). Adapun hipotesis dari Uji Tukey adalah sebagai berikut:

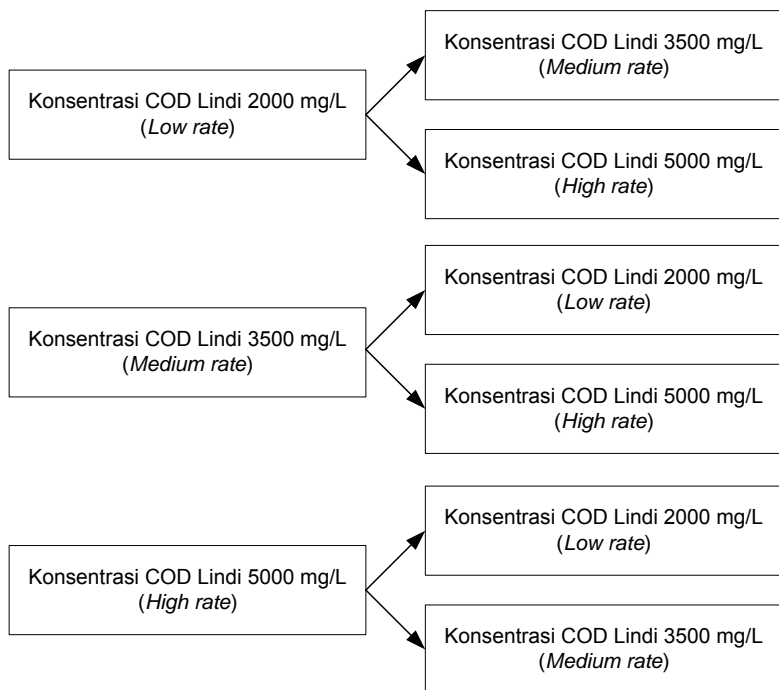
Hipotesis:

$$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 0$$

$$H_1 : \text{paling sedikit ada satu } \beta_i \neq 0$$

$$\alpha = 0,05.$$

Skema perbandingan konsentrasi COD lindi dapat dilihat pada Gambar 4.22, sedangkan hasil analisis uji Tukey dapat dilihat pada Tabel 4.10.



Gambar 4.22 Skema Perbandingan Konsentrasi COD Lindi

Tabel 4.10 Hasil Uji Tukey Konsentrasi COD Lindi dengan Program SPSS 16

Dependent Variable	(I) OLR	(J) OLR	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
TN	Low	Medium	-17.07500*	4.78988	.005	-29.1482	-5.0018
		High	-18.85250*	4.78988	.002	-30.9257	-6.7793
		Medium Low	17.07500*	4.78988	.005	5.0018	29.1482
	High	High	-1.77750	4.78988	.927	-13.8507	10.2957
		Low	18.85250*	4.78988	.002	6.7793	30.9257
		Medium	1.77750	4.78988	.927	-10.2957	13.8507
TN aerobik	Low	Medium	-10.20607	5.01036	.129	-22.8822	2.4701

Dependent Variable	(I) OLR	(J) OLR	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
		High	-13.13625 <sup>*</sup>	4.84047	.034	-25.3826	-.8899
		Medium Low	10.20607	5.01036	.129	-2.4701	22.8822
		High	-2.93018	5.01036	.830	-15.6063	9.7460
	High	Low	13.13625 <sup>*</sup>	4.84047	.034	.8899	25.3826
		Medium	2.93018	5.01036	.830	-9.7460	15.6063
	Low	Medium	-12.78250 <sup>*</sup>	4.80811	.038	-24.9017	-.6633
TN anoksik		High	-5.71750	4.80811	.472	-17.8367	6.4017
	Medium Low		12.78250 <sup>*</sup>	4.80811	.038	.6633	24.9017
		High	7.06500	4.80811	.325	-5.0542	19.1842
	High	Low	5.71750	4.80811	.472	-6.4017	17.8367
		Medium	-7.06500	4.80811	.325	-19.1842	5.0542
	Low	Medium	1.75750	5.44390	.944	-11.9642	15.4792
COD		High	13.35750	5.44390	.057	-.3642	27.0792
	Medium Low		-1.75750	5.44390	.944	-15.4792	11.9642
		High	11.60000	5.44390	.108	-2.1217	25.3217
	High	Low	-13.35750	5.44390	.057	-27.0792	.3642
		Medium	-11.60000	5.44390	.108	-25.3217	2.1217
	Low	Medium	-1.78875	5.62485	.946	-15.9666	12.3891
CODaerobik		High	4.00625	5.62485	.759	-10.1716	18.1841
	Medium Low		1.78875	5.62485	.946	-12.3891	15.9666
		High	5.79500	5.62485	.567	-8.3828	19.9728
	High	Low	-4.00625	5.62485	.759	-18.1841	10.1716
		Medium	-5.79500	5.62485	.567	-19.9728	8.3828
	Low	Medium	-6.22250	6.91212	.646	-23.6450	11.2000
COD anoksik		High	8.70000	6.91212	.433	-8.7225	26.1225
	Medium Low		6.22250	6.91212	.646	-11.2000	23.6450
		High	14.92250	6.91212	.102	-2.5000	32.3450
	High	Low	-8.70000	6.91212	.433	-26.1225	8.7225
		Medium	-14.92250	6.91212	.102	-32.3450	2.5000
	Low	Medium	-37.86375 <sup>*</sup>	5.75723	.000	-52.3753	-23.3522
NO <sub>3</sub>	Low	Medium					

Dependent Variable	(I) OLR	(J) OLR	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
NO <sub>3</sub> aerobik		High	18.34750*	5.75723	.012	-32.8590	-3.8360
		Medium	17.86375*	5.75723	.000	23.3522	52.3753
		High	19.51625*	5.75723	.007	5.0047	34.0278
		Low	18.34750*	5.75723	.012	3.8360	32.8590
		Medium	19.51625*	5.75723	.007	-34.0278	-5.0047
		Low	19.63750*	4.32522	.001	-30.5395	-8.7355
		High	31.45875*	4.32522	.000	-42.3608	-20.5567
		Medium	19.63750*	4.32522	.001	8.7355	30.5395
		High	11.82125*	4.32522	.032	-22.7233	-.9192
		Low	31.45875*	4.32522	.000	20.5567	42.3608
NO <sub>3</sub> anoksik		Medium	11.82125*	4.32522	.032	-.9192	22.7233
		Low	27.42125*	5.67959	.000	-41.7371	-13.1054
		High	24.22375*	5.67959	.001	-38.5396	-9.9079
		Medium	27.42125*	5.67959	.000	13.1054	41.7371
		High	3.19750	5.67959	.841	-11.1183	17.5133
		Low	24.22375*	5.67959	.001	9.9079	38.5396
		Medium	-3.19750	5.67959	.841	-17.5133	11.1183
		Low	18.44250*	5.29063	.006	-31.7779	-5.1071
		High	-11.57500	5.29063	.097	-24.9104	1.7604
		Medium	18.44250*	5.29063	.006	5.1071	31.7779
NH <sub>3</sub>		High	6.86750	5.29063	.412	-6.4679	20.2029
		Low	11.57500	5.29063	.097	-1.7604	24.9104
		Medium	-6.86750	5.29063	.412	-20.2029	6.4679
		Low	23.04500*	6.19740	.003	-38.6660	-7.4240
		High	-6.59000	6.19740	.547	-22.2110	9.0310
		Medium	23.04500*	6.19740	.003	7.4240	38.6660
		High	16.45500*	6.19740	.038	.8340	32.0760
		Low	6.59000	6.19740	.547	-9.0310	22.2110
		Medium	-16.45500*	6.19740	.038	-32.0760	-.8340
		Low	-6.61375	7.06927	.624	-24.4323	11.2048
NH <sub>3</sub> anoksik	Low	Medium					



Dependent Variable	(I) OLR	(J) OLR	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
		High	-12.39500	7.06927	.210	-30.2136	5.4236
	Medium	Low	6.61375	7.06927	.624	-11.2048	24.4323
		High	-5.78125	7.06927	.696	-23.5998	12.0373
	High	Low	12.39500	7.06927	.210	-5.4236	30.2136
		Medium	5.78125	7.06927	.696	-12.0373	23.5998

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Berdasarkan hasil *running* program SPSS 16 menunjukkan bahwa parameter nitrogen, baik dalam bentuk total nitrogen (ammonia-nitrogen dan nitrat-nitrogen), ammonia-nitrogen dan nitrat-nitrogen berpengaruh terhadap nilai konsentrasi COD lindi, antara yang *low rate* dengan *medium rate* dan *high rate*, serta sebaliknya. Sedangkan untuk parameter COD tidak menunjukkan hasil yang signifikan. Hal ini ditunjukkan dari nilai signifikansi yang  $> 0,05$  (Tabel 4.10).

#### 4.6 Ringkasan Kinerja MBBR

MBBR dengan parameter organik dan nitrogen menunjukkan kinerja yang cukup baik dalam mengolah lindi dengan konsentrasi COD lindi 2000 mg/L hingga 5000 mg/L. MBBR ini beroperasi dengan sistem *batch*. Volume pengolahan sebanyak 10 L yang terdiri dari 8,4 L lindi dan 1,6 L lumpur, serta volume media K1 (Kaldness) sebanyak 2 L. MBBR dengan konsentrasi COD lindi 2000 mg/L, menunjukkan hasil yang paling baik dalam mempertahankan nilai pH (*buffer*). Hal ini terlihat dari konsentrasi alkalinitas yang sangat meningkat disemua reaktor dan nilai pH yang cenderung tetap.

Pada konsentrasi COD lindi 3500 mg/L, dengan durasi proses aerobik-anoksik sebesar 60%-40% menghasilkan efisiensi removal zat organik dan peningkatan nilai rasio F/M yang paling baik. Efisiensi removal zat organik yang diperoleh dalam bentuk removal COD sebesar 92,15%. Efisiensi removal ammonia-

nitrogen yang paling baik juga diperoleh pada variasi konsentrasi 3500 mg/L, tetapi dengan durasi proses aerobik-anoksik sebesar 80%-20% yaitu sebesar 76,81%. Durasi proses aerobik yang paling lama (80%-20%) juga menunjukkan hasil biomassa (MLSS) yang stabil dan rata-rata berada pada rentang tipikal MBBR.

Konsentrasi COD lindi 5000 mg/L dengan durasi proses aerobik-anoksik sebesar 40%-60% menghasilkan removal nitrat-nitrogen yang paling baik, yaitu sebesar 69,28%. Selain itu, lindi yang digunakan selama proses *running* memiliki nilai konsentrasi salinitas yang tergolong air tawar, sehingga menunjukkan bahwa salinitas tidak mengganggu pengolahan biologis yang terjadi di dalam reaktor.

Apabila akan ditentukan reaktor terbaik yang dapat digunakan untuk removal zat organik dan nitrogen pada variasi konsentrasi COD lindi 2000-5000 mg/L, maka reaktor SBR 3-MBBR 3 adalah reaktor yang paling baik dengan durasi proses aerobik anoksik 60%-40% (27 jam-18 jam). Reaktor SBR 3-MBBR 3 mampu meremoval zat organik dan ammonia-nitrogen paling optimum. Selain itu, kemampuannya dalam meremoval nitrat-nitrogen dan mempertahankan konsentrasi biomassa juga sudah tergolong cukup baik. Adapun hasil penelitian ini jika dibandingkan dengan baku mutu dari dalam negeri yang berasal dari Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013 dan luar negeri yang berasal dari *Environmental Quality Regulation Malaysia* 2009 (Tabel 4.11). Hasilnya menunjukkan bahwa untuk parameter BOD, nitrat dan pH, hasil pengolahan lindi menggunakan MBBR sudah memenuhi baku mutu. Akan tetapi, hasil efluen parameter COD masih di atas baku mutu sehingga dibutuhkan pengolahan sebelumnya (*pre-treatment*) untuk menurunkan konsentrasi COD yang akan masuk ke dalam MBBR atau dengan membuat unit pengolahan dengan sistem seri.

Tabel 4.11 Perbandingan Hasil Penelitian dengan Baku Mutu

No.	Parameter	Satuan	Efluen Hasil Penelitian	Baku Mutu	
				Pergub. Jatim No.72 Tahun 2013 (Kelas I)	Environmental Quality Regulation Malaysia 2009 (Leachate)
1	COD	mg/L	274,75	100	400
2	BOD	mg/L	42,52	50	-
3	NH <sub>3</sub> N	mg/L	5,95	1	5
4	NO <sub>3</sub> N	mg/L	5,15	20	-
5	pH	-	7,64-8,94	6-9	6-9

Pada kenyataannya jika MBBR akan di aplikasikan untuk lindi asli yaitu dengan konsentrasi COD lindi yang mencapai 16000 mg/L maka sebaiknya sebelum memasuki pengolahan biologis dengan MBBR terlebih dahulu diolah dengan pengolahan biologis secara anaerobik (*pre-treatment*). Hal ini dilakukan untuk mengurangi konsentrasi COD yang masih sangat tinggi pada lindi sehingga pengolahan aerobik dan anoksik yang terjadi di dalam reaktor MBBR dapat optimum dan hasil efluen lindi memenuhi baku mutu. Meskipun pengolahan secara anaerobik akan meningkatkan konsentrasi ammonia-nitrogen, tetapi dengan pengolahan secara aerobik-anoksik akan mampu mengubah ammonia-nitrogen menjadi gas nitrogen sehingga masalah konsentrasi nitrogen yang tinggi pada lindi akan teratasi.

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Analisis dan pembahasan pada penelitian pengolahan lindi menggunakan *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) pada proses aerobik-anoksik menghasilkan kesimpulan sebagai berikut:

1. MBBR optimum dalam mengoksidasi zat organik pada konsentrasi COD lindi 3500 mg/L dengan besar efisiensi removal sebesar 95,15% dan removal ammonia sebesar 76,81% sedangkan pada konsentrasi COD lindi 5000 mg/L removal nitrat sebesar 69,28%.
2. Variasi konsentrasi organik pada lindi memberikan pengaruh signifikan terhadap parameter COD, ammonia-nitrogen dan nitrat-nitrogen di dalam pengolahan lindi menggunakan MBBR yang ditunjukkan melalui hasil analisis Anova ( $P \leq 0,05$ ).
3. Durasi proses aerobik-anoksik yang paling optimum untuk mengolah lindi (oksidasi organik, removal ammonia dan nitrat) dengan konsentrasi COD lindi hingga 5000 mg/L, yaitu dengan durasi proses aerobik selama 27 jam dan proses anoksik 18 jam yang ditunjukkan oleh reaktor MBBR 3.

#### **5.2 Saran**

Berdasarkan kesimpulan dan kekurangan yang ada pada penelitian ini, diperlukan adanya saran untuk perkembangan penelitian selanjutnya mengenai pengolahan lindi menggunakan *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) pada proses aerobik-anoksik. Berikut ini adalah beberapa saran yang dapat diberikan:

1. Perlu dilakukan analisis nitrit-nitrogen ( $\text{NO}_2\text{-N}$ ) untuk mengetahui besarnya ammonia yang menjadi nitrit pada kondisi aerobik.
2. Perlu dilakukan analisis parameter DO untuk mengetahui kecukupan oksigen terlarut yang terdapat di dalam reaktor pada kondisi aerobik maupun kondisi anoksik.

3. Perlu dilakukan pengujian dengan konsentrasi lindi yang lebih tinggi (pekat).

## DAFTAR PUSTAKA

- Alexander, M. 1994. **Biodegradation and Bioremediation**. Academic Press, Inc.: United States of America.
- APHA. 1998. **Standard Methode for the Examination of Water and Wastewater**. American Public Health Association Publisher: New York.
- Baker, K. H. dan Herson, D. S. 1994. **Bioremediation**. McGraw Hill: United States.
- Banu, J. R., Uan, D. K., Yeom, I. T. 2009. Nutrient Removal in an A<sup>2</sup>O-MBR Reactor with Sludge Reduction. **Bioresource Technology**. 100 (2009) 3820-3824.
- Bassin, P. J., Dezotti, M., Jr A. S. L. G. 2011. Nitrification of Industrial and Domestic Saline Wastewaters in Moving Bed Biofilm Reactor and Squencing Batch Reactor. **Journal of Hazardous Materials**. 185 (2011) 242-248.
- Borkar, R. P., Gulhane, M. L., Kotangale, A. J. 2013. Moving Bed Biofilm Reactor—A New Perspective in Wastewater Treatment. **Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology**. 06 (2013) 15-21.
- Boyd, C. E. 1990. **Water Quality in Pond for Aquaculture**. Binningham Publishing Co.
- Canziani, R., Emondi, V., Garavaglia, M., Malpei, F., Pasinetti, E., Buttiglieri G. 2006. Effect of Oxygen Concentration on Biological Nitrification and Microbial kinetics In a Cross-Flow Membrane Bioreactor (MBR) and Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) Treating Old Landfill Leachate. **Journal of Membrane Science**. 286 (2006) 202-212.
- Chen, S., Sun, D., Chung, J.-S. 2008. Simultaneous Removal of COD and Ammonium from Landfill Leachate Using an Anaerobic–Aerobic Moving-Bed Biofilm Reactor System. **Waste Management**. 28 (2008) 339–346.
- Chu, L. dan Wang, J. 2011. Nitrogen Removal Using Biodegradable Polymers as Carbon Source and Biofilm Carriers in a Moving Bed Biofilm Reactor. **Chemical Engineering Journal**. 170 (2011) 220-225.
- Damanhuri, E. 2008. **Diktat Landfilling Limbah Versi 2008**. FTSL ITB: Bandung.

- De Renzo, D. J. 1978. **Nitrogen Control and Phosphorus Removal in Sawage Treatment**. Park Ridge: New Jersey.
- Dong, Z., Lu, M., Huang, W., Xu, X. 2011. Treatment of Oilfield Wastewater in Moving Bed Biofilm Reactors Using a Novel Suspended Ceramic Biocarrier. **Journal of Hazardous Materials**. 196 (2011) 123-130.
- Department of Environment, Ministry of Natural Resources and Environment. 2009. **Environmental Quality Regulation for Discharge of Leachate**. Appendix K3 Halaman 64.
- Filali, A., Mañas, A., Mercade, M., Bessière, Y., Biscans, B., Spérandio, M. 2012. Stability and Performance of Two GSBF Operated in Alternating Anoxic/Aerobic or Anaerobic/Aerobic Conditions for Nutrient Removal. **Biochemical Engineering Journal**. 67 (2012) 10–19.
- Gracia, J., Mujeriego, R., Marine, M. H. 2006. Long Term Diurnal Variations in Contaminant Removal in High Rate Pond Treating Urban Wastewater. **Bioresource Technology**. 97 (2006) 1709-1715.
- Gray, N. F. 2004. **Biology of Wastewater Treatment: 2<sup>sc</sup> Edition**. Imperial College Press: University of Dublin Ireland.
- Greenberg, A. E., Eaton A. D., Clesceri L.S., Rice E. W. 2005. **Standard Methods for Examination of Water and Wastewater: 21<sup>th</sup> Edition**. American Public Health Association Publisher: Washington DC.
- Gufhran. 2007. **Pengelolaan Kualitas Air Dalam Budidaya Perairan**. Renika Cipta: Jakarta.
- Hadiwidodo, M., Oktiawan, W., Primadani, R. A., Parasmita, N. B., Gunawan, I. 2012. Pengolahan Air Lindi dengan Proses Kombinasi Biofilter Anaerobik-Aerobik dan Wetland. **Jurnal Presipitasi**. 09 (2012) 84-95.
- Henze, Mogens, Poul, H., Jes, I. C. J., Erik, A. 1995. **Wastewater Treatment: Biological and Chemical Process**. Springer-Verlag Berlin: Germany.
- Hem, L. J., Rusten, B., Ødegaard, H. 1993. Nitrification in A Moving Bed Biofilm Reactor. **Water Resource**. 28 (1993) 1425-1433.

- Herlambang, A. dan Marsidi R. 2003. **Proses Denitrifikasi dengan Sistem Biofilter Untuk Pengolahan Air Limbah yang Mengandung Nitrat**. BPPT: Jakarta.
- Indriani, T. 2010. Studi Efisiensi Paket Pengolahan *Grey Water* Model Kombinasi ABR-*Anaerobic Filter*. **Skripsi**, Jurusan Teknik Lingkungan ITS.
- Igarashi, T., Watanabe, Y., Asano, T., Tambo, N. 1999. **Water Environmental Engineering Reuse of Water**. Hokkaido Press: Jepang.
- Klimiuk, E. dan Kulikowska, D. 2006. Organics Removal from Landfill Leachate and Activated Sludge Production in SBR Reactors. **Waste Management**. 26 (2006) 1140–1147.
- Kulikowska, D. dan Bernat, K. 2013. Nitritation–Denitritation in Landfill Leachate with Glycerine as a Carbon Source. **Bioresource Technology**. 142 (2013) 297–303.
- Metcalf dan Eddy. 2003. **Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse**. McGraw-Hill, Inc.: New York.
- Miao, L., Wang, K., Wang, S., Zhu, R., Li, B., Peng, Y., Weng, D. 2014. Advanced Nitrogen Removal from Landfill Leachate Using Real-Time Controlled Three-Stage Sequence Batch Reactor (SBR) System. **Bioresource Technology**. 159 (2014) 258–265.
- Dir. Penyediaan Masalah Air, Departemen Pekerjaan Umum. 1981. **Pedoman Pengamatan Kualitas Air**. Jakarta.
- Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72. 2013. **Baku Mutu Air Limbah Industri dan/atau Kegiatan Usaha Lainnya**. Lampiran V Halaman 43.
- Pohland, F. G. dan Harper S. R. 1985. **Critical Review and Summary of Leachate and Gas Production from Landfills**. U.S. Environmental Protection Agency: Ohio.
- Putri, U. H. 2014. Pengaruh Resirkulasi Lindi Bersalinitas dan Penambahan Bioaktivator EM4 terhadap Laju Degradasi Sampah dan Pembentukan Gas di TPA Ngipik. **Skripsi**, Jurusan Teknik Lingkungan ITS.
- Purwanta, W. 2007. Tinjauan Teknologi Pengolahan Leachate Di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah Perkotaan. **Jurnal Air Indonesia**. 01 (2007) 57-63.



- Qaderi, F., Ayati, B., Ganjidous, H. 2011. Role of Moving Bed Biofilm Reactor and Squencing Batch Reactor in Biological Degradation of Formaldehyde Wastewater. **Journal Environment Health Science**. 08 (2011) 295-306.
- Riansyah, E. dan Wesen, P. 2010. Pemanfaatan Lindi Sampah sebagai Pupuk Cair. **Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan**. 04 (2010) 10-18.
- Ristanto. 2011. Uji Pengaruh Ammonium ( $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ) dan Salinitas Terhadap Pengolahan Lindi Secara Anaerobik (Studi Kasus: TPA Benowo). **Skripsi**. Jurusan Teknik Lingkungan ITS.
- Romli, M., Suprihatin, Sulinda, D. 2004. Penentuan Nilai Parameter Kinetika Lumpur Aktif untuk Pengolahan Air Lindi Sampah (*Leachate*). **Jurnal Teknik Industri Pertanian**. 14 (2004) 56-66.
- Sahariah, B. P., dan Chakraborty, S. 2011. Kinetic Analysis of Phenol, Thiocyanate and Ammonia-Nitrogen Removals in an Anaerobic–Anoxic–Aerobic Moving Bed Bioreactor System. **Journal of Hazardous Material**. 190 (2011) 260–267.
- Said, N. I. dan Herlambang. 2002. **Teknologi Pengolahan Air Limbah**. BBPT: Jakarta.
- Shewfelt, K., Hung, L., dan Richard, G. Z. 2005. Optimization of Nitrogen for Bioventing of Gasoline Contaminated Soil. **Journal of Environmental Engineering Science**. 04 (2005) 29-42.
- Sawyer C. N., McCarty P. L., Parkin G. F. 2003. **Chemistry for Environmental Engineering and Science: 5<sup>th</sup> Edition**. McGraw-Hill: Singapore.
- Suganda, R., Sutrisno, E., Wardana, I. W. 2014. Penurunan Konsentrasi Amonia, Nitrat, Nitrit dan COD dalam Limbah Cair Tahu dengan Menggunakan Biofilm–Kolam (Pond) Media Pipa CODC Sarang Tawon dan Tempurung Kelapa Disertai Penambahan *Ecotru*. **Jurnal Teknik Lingkungan**. 03 (2014) 58-66.
- Susanto, P. J., Ganefati, P. S., Muryani, S., Istiqomah, H. S. 2004. Pengolahan Lindi (*Leachate*) dari TPA dengan

- Sistem Koagulasi-Biofilter Anarobic. **Jurnal Teknik Lingkungan P3TL-BPPT**. 05 (2004) 167-173.
- Sun, H., Yang, Q., Peng, Y., Shi, X., Wang, S., Zhang, S. 2010. Advanced Landfill Leachate Treatment Using A Two-Stage UASB-SBR System at Low Temperature. **Journal of Environment Science**. 22 (2010) 481–485.
- Sun, H., Zhao, H., Bai, B., Chen, Y., Yang, Q., Peng, Y. 2015. Advanced Removal of Organic and Nitrogen from Ammonium-rich Landfill Leachate Using an Anaerobic-aerobic System. **Chinese Journal Chemical Engineering**.
- Tarre, S. dan Green, M. 2004. High-Rate Nitrification at Low pH in Suspended and Attached-Biomass Reactors. **Applied and Environmental Microbiology**. 70 (2004) 6481-6487.
- Trihadiningrum, Y. 2012. **Mikrobiologi Lingkungan**. ITS Press: Surabaya.
- Udiharto, M. 1996. Pengujian Biodegradasi Limbah Minyak Bumi Dalam Air. **Prosiding Pelatihan dan Lokakarya Peranan Bioremediasi Dalam Pengelolaan Lingkungan**.
- Whittmann, C., Zeng, A. P., Deckwer, W. D. 1995. Growth Inhibition by Ammonia and Use of pH-Controlled Feeding Strategy for Effective Cultivation of *Mycobacterium Chlorophenolicum*. **Applied Microbiol Biotechnol**. 44 (1995) 519-525.
- Zuang, H., Han, H., Jia, S., Zhao, Q., Hou, B. 2014. Advanced Treatment of Biologically Pretreated Coal Gasification Wastewater Using A Novel Anoxic Moving Bed Biofilm Reactor (ANMBBR)-Biological Aerated Filter (BAF) System. **Bioresource Technology**. 157 (2014) 223-230.

**Halaman ini sengaja dikosongkan**

## LAMPIRAN A

### PEMBUATAN REAGEN, KALIBRASI DAN PROSEDUR ANALISIS

#### A. Analisis Nitrat-nitrogen

##### 1. Pembuatan Reagen

###### a. Brucine Asetat 0,5%

Larutkan 0,5 gram serbuk brucine dengan 100 mL acetic acid glacial ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) di dalam labu pengencer 100 mL, kocok hingga larut sempurna.

###### b. $\text{H}_2\text{SO}_4$ pekat

###### c. Larutan Standar Nitrat (100 ppm atau 100 mg/L)

Timbang dengan teliti 721,8 mg  $\text{KNO}_3$  kemudian larutkan ke dalam aquades sebanyak 1 L di dalam labu pengencer 1 L.

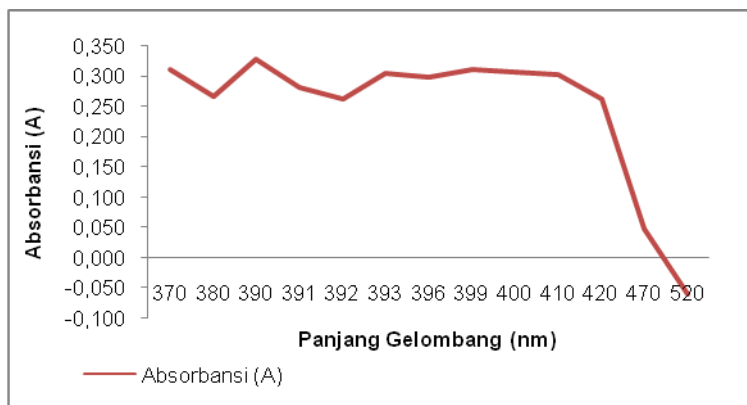
##### 2. Kalibrasi

Sebelum melakukan kalibrasi maka terlebih dahulu dilakukan penentuan panjang gelombang maksimum untuk analisis nitrat-nitrogen.

###### a. Penentuan Panjang Gelombang Analisis Nitrat-Nitrogen

Panjang Gelombang (nm)	Absorbansi (A)
370	0,313
380	0,267
390	0,329
391	0,283
392	0,263
393	0,306
396	0,300
399	0,311
400	0,307
410	0,303

Panjang Gelombang (nm)	Absorbansi (A)
420	0,264
470	0,049
520	-0,060

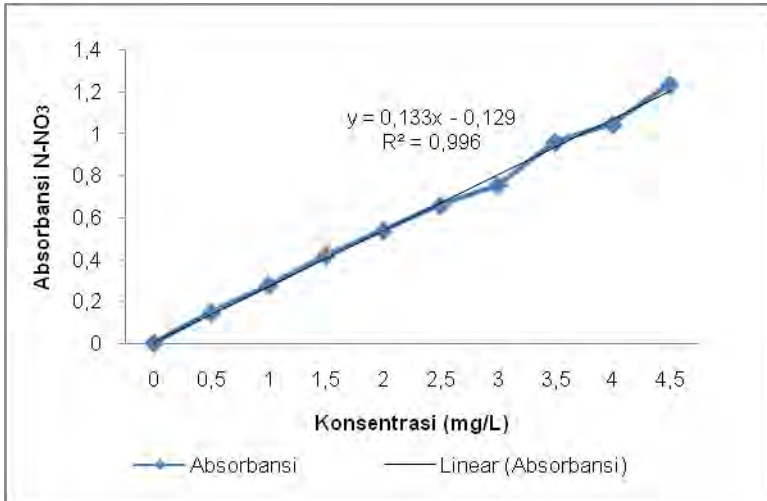


**b. Kurva Kalibrasi Analisis Nitrat-nitrogen**

Digunakan panjang gelombang 390 nm sesuai dengan hasil penentuan panjang gelombang optimum.

Konsentrasi (mg/L)	Absorbansi (A)
0	0
0,5	0,144
1	0,277
1,5	0,418
2	0,537
2,5	0,657
3	0,754
3,5	0,959
4	1,044

Konsentrasi (mg/L)	Absorbansi (A)
0	0
4,5	1,234



### 3. Prosedur Analisis

- Disiapkan sampel yang akan dianalisis kadar nitratnya.
- Diambil 2 mL sampel (diencerkan jika sampel terlalu pekat)
- Ditambahkan 2 mL larutan brucin asetat
- Ditambahkan 4 mL larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pekat
- Diaduk dan dидiamkan selama ± 10 menit
- Dibaca dengan spektrofotometer  $\lambda=390$  nm
- Blanko yang digunakan adalah larutan sampel (tanpa reagen)

## B. Analisis Ammonia-nitrogen

### 1. Pembuatan Reagen

#### a. Nessler

Campur dan haluskan 50 gram serbuk  $\text{HgI}_2$  dan 35 gram KI kemudian dilarutkan dengan 80 gram NaOH yang sudah dilarutkan dengan aquades hingga 500 mL. Biarkan mengendap dan diambil supernatannya.

#### b. Garam Signet

Larutkan 50 gram K.Na.Tatrat ke dalam 500 mL aquades, kemudian ditambahkan 5 mL larutan nessler sebagai pengawet.

#### c. Larutan Standar Ammonium (100 ppm atau 100 mg/L)

Timbang dengan teliti 382,14 mg  $\text{NH}_4\text{Cl}$  kemudian larutkan ke dalam aquades sebanyak 1 L di dalam labu pengencer 1 L. Ditambahkan 3 tetes toluen sebagai pengawet.

### 2. Kalibrasi

Sebelum melakukan kalibrasi maka terlebih dahulu dilakukan penentuan panjang gelombang maksimum untuk analisis ammonia-nitrogen.

#### a. Penentuan Panjang Gelombang Analisis Ammonia-Nitrogen

Panjang gelombang (nm)	Absorbansi (A)
380	0,113
385	0,125
386	0,160
387	0,152
388	0,140
390	0,138
392	0,120
394	0,124

Panjang gelombang (nm)	Absorbansi (A)
396	0,122
400	0,114
410	0,102
420	0,085
430	0,075
440	0,064
450	0,050
460	0,042
470	0,026
480	0,025
490	0,023
500	0,016

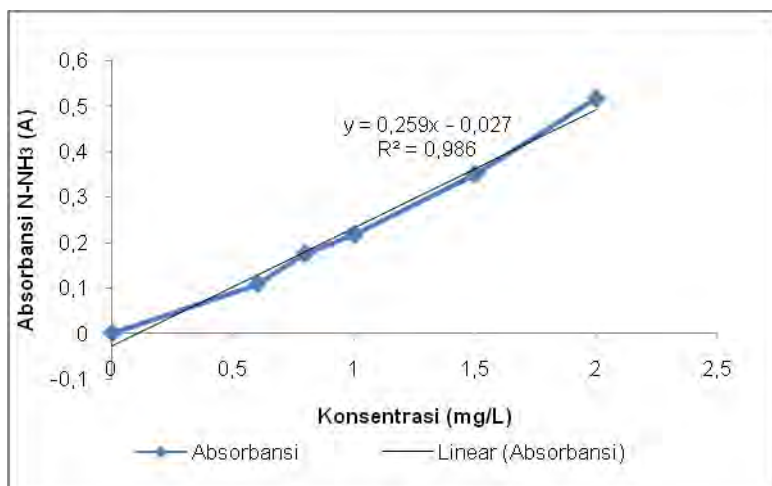


**b. Kurva Kalibrasi Analisis Ammonia-nitrogen**

Digunakan panjang gelombang 386 nm sesuai dengan hasil penentuan panjang gelombang optimum.



Konsentrasi (mg/L)	Absorbansi (A)
0	0
0,6	0,108
0,8	0,175
1	0,216
1.5	0,35
2	0,516



### 3. Prosedur Analisis

- Disiapkan sampel yang akan dianalisis kadar amoniaknya.
- Diambil 25 mL sampel (diencerkan jika sampel terlalu pekat)
- Ditambahkan 1 mL larutan nessler
- Ditambahkan 1,25 mL larutan garam signet
- Diaduk dan didiamkan selama  $\pm 10$  menit
- Dibaca dengan spektrofotometer  $\lambda=386$  nm

- Blanko yang digunakan adalah aquades dengan penambahan reagen seperti pada sampel.

### C. Analisis COD (*Permanganat Value*)

#### 1. Pembuatan Reagen

##### a. Larutan $\text{KMnO}_4$ 0,01 N

Timbang dengan teliti 0,158 gram  $\text{KMnO}_4$  dengan teliti. Larutkan dengan aquades hingga 1 L menggunakan labu pengencer 1 L.

##### b. Larutan Asam Oksalat 0,1 N

Timbang dengan teliti 0,63 gram asam oksalat kemudian tambahkan dengan 5 mL  $\text{H}_2\text{SO}_4$  N. Encerkan dengan aquades hingga 100 mL dengan menggunakan labu pengencer 100 mL.

##### c. Larutan $\text{H}_2\text{SO}_4$ N

Larutkan 113,4 mL  $\text{H}_2\text{SO}_4$  36 N dengan aquades hingga 1 L dengan menggunakan labu pengencer 1 L.

#### 2. Prosedur Analisis:

- Disiapkan sampel yang akan dianalisis kadar CODnya.
- Diambil 1 mL sampel kemudian diencerkan sampai 100 kali.
- Dimasukan ke dalam erlenmeyer 100 mL, kemudian ditambahkan 2,5 mL asam sulfat 4 N.
- Tambahkan beberapa tetes larutan  $\text{KMnO}_4$  0,01 N hingga warna merah muda.
- Panaskan hingga mendidih selama 1 menit.
- Tambahkan 10 mL larutan  $\text{KMnO}_4$  0,01 N.
- Panaskan hingga mendidih selama 10 menit.
- Tambahkan 1 mL larutan asam oksalat dan tunggu hingga jernih.
- Titrasi dengan  $\text{KMnO}_4$  0,01 N hingga warna merah muda.
- Perhitungan nilai COD dilakukan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{KMnO}_4 \text{ (mg/L)} = \frac{1000 \{[(10+a) \times N] - (1 \times 0,1)\} \times 31,6}{\text{Vol. sampel}} \times P$$

dengan:

a = mL titrasi  $\text{KMnO}_4$

N = normalitas larutan FAS

P = nilai pengenceran

#### D. Analisis COD (*Chemical Oxygen Demand*)

##### 1. Pembuatan Reagen

###### a. Larutan $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 0,1 N

Timbang dengan teliti 4,9036 gram  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  yang telah dikeringkan di oven. Larutkan dengan aquades hingga 1 L menggunakan labu pengencer 1 L.

###### b. Larutan Ferro Ammonium Sulfat (FAS) 0,1 N

Timbang dengan teliti 39,2 gram  $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  kemudian tambahkan dengan 8 mL  $\text{H}_2\text{SO}_4$  pekat. Encerkan dengan aquades hingga 1 L dengan menggunakan labu pengencer 1 L.

###### c. Larutan Campuran Asam ( $\text{Ag}_2\text{SO}_4$ )

Larutkan 10 gram  $\text{Ag}_2\text{SO}_4$  ke dalam 1 L  $\text{H}_2\text{SO}_4$  hingga larut sempurna.

###### d. Larutan Indikator Ferroin

Larutkan 1,485 gram Orthophenanthroline dan 0,695 gram  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  ke dalam 100 mL aquades dengan menggunakan labu pengencer 100 mL.

##### 2. Prosedur Analisis:

Metode analisis COD dilakukan dengan menggunakan prinsip *closed reflux* metode titimetri berdasarkan Greenberg *et al.* (2005), seperti berikut:

- Disiapkan sampel yang akan dianalisis kadar CODnya.
- Diambil 1 mL sampel kemudian diencerkan sampai 100 kali.
- Disiapkan 2 buah tabung COD, kemudian dimasukkan sampel yang telah diencerkan sebanyak 1 mL dan aquades sebanyak 1 mL sebagai blanko.
- Larutan Kalium dikromat ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) ditambahkan sebanyak 1,5 mL.
- Larutan campuran asam ( $\text{Ag}_2\text{SO}_4$ ) ditambahkan sebanyak 3,5 mL.

- Alat pemanas dinyalakan dan diletakkan tabung COD pada rak tabung COD di atas alat pemanas selama 2 jam.
- Setelah 2 jam, alat pemanas dimatikan dan tabung COD dibiarkan hingga dingin.
- Ditambahkan indikator ferroin sebanyak 1 tetes.
- Sampel di dalam tabung COD dipindahkan ke dalam Erlenmeyer kemudian dititrasikan menggunakan larutan standar FAS 0,0125 N hingga warna biru-hijau berubah menjadi merah-coklat yang tidak hilang selama 1 menit.
- Perhitungan nilai COD dilakukan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{COD (mg O}_2\text{/L)} = \frac{(A-B) \times N \times 8000}{\text{Vol.sampel}} \times p$$

dengan:

A = mL FAS titrasi blanko

B = mL FAS titrasi sampel

N = normalitas larutan FAS

P = nilai pengenceran

## E. Analisis BOD (*Biochemical Oxygen Demand*)

### 1. Pembuatan Reagen

#### a. Larutan Buffer Fosfat

Campur dan larutkan  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  0,85 gram,  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  0,2175 gram,  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  0,334 gram dan  $\text{NH}_4\text{Cl}$  0,17 gram ke dalam 100 mL aquades dengan menggunakan labu pengencer 100mL.

#### b. Larutan $\text{MgSO}_4$

Larutkan 0,225 gram  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  ke dalam 100 mL aquades dengan menggunakan labu pengencer 100mL.

#### c. Larutan $\text{CaCl}_2$

Larutkan 0,275 gram  $\text{CaCl}_2$  ke dalam 100mL aquades dengan menggunakan labu pengencer 100 mL.

**d. Larutan  $\text{FeCl}_3$**

Larutkan 0,025 gram  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  ke dalam 100 mL aquades dengan menggunakan labu pengencer 100 mL.

Untuk membuat 1 L air pengencer maka dibutuhkan masing-masing 1 mL larutan Buffer Fospat,  $\text{MgSO}_4$ , larutan  $\text{CaCl}_2$ , larutan  $\text{FeCl}_3$  dan larutan bakteri. Larutan bakteri dapat dibuat dengan mengaerasi 1 spatula (10 gram) tanah subur ke dalam air selama 2 jam.

**e. Larutan  $\text{MnCl}_2$  20%**

Larutkan 20 gram  $\text{MnCl}_2$  ke dalam 100 mL aquades dengan menggunakan labu pengencer 100 mL.

**f. Larutan Pereaksi Oksigen**

Campur dan larutkan 40 gram  $\text{NaOH}$ , 15 gram  $\text{KI}$  dan 2 gram  $\text{NaN}_3$  ke dalam 100 mL aquades dengan menggunakan labu pengencer 100 mL.

**g. Larutan Indikator Amilum 1%**

Larutkan 1 gram amilum dengan 100 mL aquades yang sudah dididihkandi dalam labu pengencer 100 mL dan ditambahkan sedikit  $\text{Hgl}_2$  sebagai pengawet.

**h. Larutan Thiosulfat 0,01 N**

Larutkan 24,82 gram  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  ke dalam 1 L aquades yang telah dididihkan dan didinginkan dengan menggunakan labu pengencer 1 L. Kemudian ditambahkan dengan 1 gram  $\text{NaOH}$  sebagai buffer.

**i.  $\text{H}_2\text{SO}_4$  pekat**

**2. Prosedur Analisis:**

Metode analisis BOD dilakukan dengan menggunakan prinsip winkler metode titimetri berdasarkan Greenberg *et al.* (2005), seperti berikut:

- Untuk menentukan angka pengencerannya maka dibutuhkan angka  $\text{KMNO}_4$  :

$$P = \frac{\text{Angka KMNO}_4}{3 \text{ atau } 5 \text{ (tergantung dari pH sampel)}}$$

- Siapkan 1 buah labu pengencer 500 mL dan tuangkan sampel sesuai dengan perhitungan

pengenceran, tambahkan air pengencer hingga batas labu.

- Siapkan 2 buah botol winkler 300 mL dan 2 buah botol winkler 150 mL.
- Tuangkan air dalam labu pengencer tadi ke dalam botol winkler 300 mL dan 150 mL sampai tumpah.
- Tuangkan air pengencer ke dalam botol winkler 300 mL dan 150 mL sebagai blanko sampai tumpah.
- Bungkus kedua botol winkler 300 mL dengan menggunakan plastik wrap agar kedap udara. Kemudian masukkan kedua botol tersebut ke dalam inkubator 20°C selama 5 hari.
- Kedua botol winkler 150 mL yang berisi air dianalisis oksigen terlarutnya dengan prosedur sebagai berikut:
  - Tambahkan 1 mL larutan  $MnCl_2$ .
  - Tambahkan 1 mL larutan Pereaksi Oksigen.
  - Botol ditutup dengan hati-hati agar tidak ada gelembung udara di dalam botol kemudian dikocok beberapa kali.
  - Biarkan gumpalan mengendap selama  $\pm 10$  menit.
  - Tambahkan 1 mL  $H_2SO_4$  pekat, tutup dan kocok kembali.
  - Tuangkan 100 mL larutan ke dalam Erlenmeyer 250 mL
  - Tambahkan 3 tetes indikator amilum.
  - Titrasi dengan larutan Natrium Thiosulfat 0.0125 N sampai warna biru hilang.
- Setelah 5 hari, analisis kedua larutan dalam winkler 300 mL seperti analisis oksigen terlarut.
- Hitung oksigen terlarut dan BOD dengan rumus berikut:

$$OT \text{ (mg } O_2/L) = \frac{a \times N \times 8000}{100 \text{ mL}}$$

$$BOD_{5^{20}} \text{ (mg/L)} = \frac{[(X_0 - X_5) - (B_0 - B_5)]}{P}$$

$$P = \frac{\text{mL sampel}}{\text{volume hasil pengenceran (500 mL)}}$$

Dimana:

$X_0$  = oksigen terlarut sampel pada  $t = 0$

$X_5$  = oksigen terlarut sampel pada  $t = 5$

$B_0$  = oksigen terlarut blanko pada  $t = 0$

$B_5$  = oksigen terlarut blanko pada  $t = 5$

$P$  = derajat pengenceran

$a$  = volume titran (mL)

$N$  = Normalitas Natrium Thiosulfat

## F. Analisis MLSS (*Mixed Liquor Suspended Solid*)

### 1. Prosedur Analisis:

Teknik analisis MLSS dalam penelitian ini menggunakan metode gravimetri berdasarkan modifikasi dari metode analisis TSS pada Greenberg *et al.* (2005) seperti berikut:

- Cawan porselin dipanaskan pada furnace dengan suhu 550°C selama 1 jam, kemudian dimasukkan ke dalam oven dengan suhu 105°C selama 15 menit.
- Disiapkan kertas saring dan dimasukkan ke dalam oven dengan suhu 105°C selama 1 jam.
- Kertas saring dan cawan dimasukkan ke dalam desikator selama 15 menit.
- Cawan dan kertas saring ditimbang bersamaan dengan menggunakan neraca analitik. Hasil penimbangan cawan dicatat sebagai  $a$  (mg), dan hasil penimbangan kertas saring dicatat sebagai  $b$  (mg).
- Kertas saring yang telah ditimbang, diletakkan pada vacuum filter.
- Sampel disaring dengan menggunakan vacuum filter yang telah dipasang kertas saring yang telah ditimbang. Sampel disaring hingga kering. Dicatat volume sampel yang disaring sebagai  $c$  (mL).
- Diambil kertas saring yang telah digunakan pada langkah 6 kemudian diletakkan pada cawan yang sama dengan yang digunakan pada langkah 4.

- Cawan yang berisi kertas saring dimasukkan ke dalam oven dengan suhu 105°C selama 1 jam.
- Cawan yang berisi kertas saring dipindahkan ke dalam desikator selama 15 menit.
- Cawan yang berisi kertas saring ditimbang dengan menggunakan neraca analitik. Hasil penimbangan dicatat sebagai d (mg).
- Dilakukan perhitungan jumlah zat padat tersuspensi (TSS) dalam sampel dengan rumus:

$$\text{TSS (mg/L)} = \frac{d(a+b)}{c} \times 2000$$

## **G. Analisis MLVSS (*Mixed Liquor Volatile Suspended Solid*)**

### **1. Prosedur Analisis:**

Teknik analisis MLVSS dalam penelitian ini menggunakan metode gravimetri berdasarkan modifikasi dari metode analisis VSS pada Greenberg *et al.* (2005). Analisis MLVSS ini merupakan lanjutan dari hasil analisis MLSS seperti berikut:

- Cawan yang berisi kertas saring, yang mengandung residu dari hasil analisis MLSS dimasukkan ke dalam *furnace* dengan suhu 550°C selama 1 jam.
- Setelah di *furnace*, cawan dan kertas saring dipindahkan ke dalam oven dengan suhu 105°C selama 15 menit.
- Cawan yang berisi kertas saring kemudian dimasukkan ke dalam desikator selama 15 menit.
- Cawan dan kertas saring ditimbang menggunakan neraca analitik. Hasil penimbangan cawan dicatat sebagai e (mg).
- Dihitung jumlah zat padat tersuspensi organik (VSS) dalam sampel dengan rumus:

$$\text{FSS (mg/L)} = \frac{(e - a)}{c} \times 2000$$

$$\text{VSS (mg/L)} = \text{TSS} - \text{FSS}$$



## H. Analisis Salinitas

### 1. Prosedur Analisis:

Analisis salinitas menggunakan pH onlab dengan bacaan digital. Prosedur analisis menggunakan modifikasi dari Greenberg *et al.* (2005) sebagai berikut:

- pH onlab disetting untuk mengukur salinitas dengan menekan *enter/mode* hingga pada layar muncul tulisan "sal". Kemudian distandarisasi menggunakan larutan buffer pH 7. Standarisasi dilakukan dengan mencelupkan probe pH onlab ke dalam larutan buffer.
- Diambil sejumlah sampel dan diletakkan ke dalam *beaker glass*.
- Dicelupkan probe pH onlab ke dalam sampel yang diukur nilai salinitasnya.
- Dibaca nilai salinitas sampel pada monitor pembaca.

## I. Analisis pH

### 1. Prosedur Analisis:

Analisis pH menggunakan pH meter dengan bacaan digital. Prosedur analisis menggunakan modifikasi dari Greenberg *et al.* (2005) sebagai berikut:

- pH meter distandarisasi menggunakan larutan buffer pH pada pH 4, 7, dan 10. Standarisasi dilakukan dengan mencelupkan probe pH meter bergantian ke dalam larutan buffer dengan urutan: buffer pH 4 → buffer pH 7 → buffer pH 10 → buffer pH 7.
- Diambil sejumlah sampel dan diletakkan ke dalam *beaker glass*.
- Dicelupkan probe pH meter ke dalam sampel yang diukur nilai pH nya.
- Dibaca nilai pH sampel pada monitor pembaca.

## J. Analisis Alkalinitas

### 1. Pembuatan Reagen

#### a. Larutan Indikator PP (Fenolftalein)

Larutkan 0,05 gram bubuk fenolftalein di dalam 50 mL etanol dan 50 mL aquades dengan menggunakan labu pengencer 100 mL.

**b. Larutan Indikator MO (Metil Orange)**

Larutkan 2 mg bubuk metil orange di dalam 100 mL zat pelarut yang terdiri dari 70 mL etanol dan 30 mL aquades dengan menggunakan labu pengencer 100 mL.

**c. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,1 N**

Diambil 0,3 mL H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pekat (98% = 35,28 N) kemudian ditambahkan aquades hingga 100 mL dengan menggunakan labu pengencer 100 mL.

**2. Prosedur Analisis:**

Prosedur analisis salinitas menggunakan metode titrasi asam-bas dengan indikator warna dari Greenberg *et al.* (2005) sebagai berikut:

- Ambil sampel sebanyak 25 mL ke dalam *beaker glass* kemudian tambahkan dengan 3 tetes indikator PP. bila tidak berwarna artinya OH<sup>-</sup> dan CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> kecil sekali atau nilai P = 0. Jika sampel berubah warna menjadi merah ungu, maka titrasikan dengan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,1 N sampai tak berwarna. Setiap penambahan asam yang diberikan hingga warna menjadi bening merupakan nilai P.
- Tambahkan 3 tetes indikator MO. Larutan akan berubah menjadi kuning-oranye.
- Titrasi dengan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,1 N hingga warna berubah menjadi merah.

$$\text{Alkalinitas (CaCO}_3 \text{ mg/L)} = \frac{(A \times B)}{C} \times 2000 \times 50,4$$

Dimana:

A = volume H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> yang digunakan

B = normalitas H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

C = volume sampel

50,4 = berat molekul / berat ekuivalensi dari CaCO<sub>3</sub>

**Halaman ini sengaja dikosongkan**

## LAMPIRAN B

### PERHITUNGAN DEBIT AERATOR

$$\text{BOD}_{needed} = \frac{Q (S_o - S_e)}{1000 \times f} = \frac{10 \frac{L}{hari} (1000 - 20) \text{ mg/L}}{1000 \times 0,68}$$

$$\begin{aligned} &= 14,5 \times 10^{-3} \text{ Kg/hari} \\ P_x &= \frac{Y \cdot Q (S_o - S_e)}{1000 \times (1 + K_d \times \theta_c)} \end{aligned}$$

$$= \frac{0,6 \times 10 \frac{L}{hari} (1000 - 20) \text{ mg/L}}{1000 \times (1 + (0,06 \times 15))}$$

$$\begin{aligned} &= 3 \times 10^{-3} \text{ Kg/hari} \\ \text{O}_2 \text{ demand} &= \frac{Q (S_o - S_e)}{1000 \times f} - 1,42 (P_x) \\ &= 14,5 \times 10^{-3} \text{ Kg/hari} - 1,42 (3 \times 10^{-3} \text{ Kg/hari}) \\ &= 10,24 \times 10^{-3} \text{ Kg/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{udara} &= \gamma_{udara} = 1,201 \text{ Kg/m}^3 \\ \text{O}_2 &= 23,2\% \text{ Udara} \end{aligned}$$

$$\text{Udara} = \frac{0,001024 \text{ Kg/hari}}{1,201 \times 0,232} = 0,037 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$\text{O}_2 \text{ transfer didalam udara} = 8\%$$

$$\text{Udara aktual} = \frac{0,037 \text{ m}^3/\text{hari}}{0,08} = 0,459 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$\text{Untuk faktor keamanan dan kebutuhan nitrifikasi} = 2$$

$$\begin{aligned} \text{O}_2 \text{ dibutuhkan} &= 2 \times 0,459 \text{ m}^3/\text{hari} \times 1/1440 \text{ menit} \times 2000 \\ &= 0,6 \text{ L/menit} \end{aligned}$$

Karena di dalam reaktor digunakan media K1 yang dibuat melayang didalam air sehingga debit udara yang dibutuhkan 5x lipat dari kebutuhan udara aktual.

$$\begin{aligned} \text{O}_2 \text{ aktual} &= 5 \times 0,6 \text{ L/menit} \\ &= 3 \text{ L/menit} \approx 4,5 \text{ L/menit} \end{aligned}$$

(menyesuaikan dengan aerator yang dijual dipasaran).

**LAMPIRAN C**  
**TABEL-TABEL DATA RAW HASIL ANALISIS LAB**

- **Konsentrasi Lindi COD 2000 mg/L**

**Analisis Nitrogen (NH<sub>3</sub>N dan NO<sub>3</sub>N)**

	Analisis NH <sub>3</sub> N (mg/L) Konsentrasi 2000 mg/L																			
	Siklus 1			Siklus 2			Siklus 3			Siklus 4			Siklus 5			Rata-rata Influen	Rata-rata Aerobik	Rata-rata Anoksik	Removal Aerobik	Removal Anoksik
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14					
Reaktor SBR 1	14,599	4,391	0,000	50,809	24,615	14,985	27,504	17,296	-1,002	23,533	1,846	0,548	38,049	19,686	18,814	31,75	12,63	8,59	19,11	4,05
Reaktor MBBR 1	24,230	15,370	0,000	62,943	48,690	47,342	16,333	10,555	-6,587	22,353	1,620	1,209	32,766	30,458	28,047	35,57	24,03	19,15	11,54	4,88
Reaktor SBR 2	63,521	40,408	40,023	70,455	68,336	29,622	-0,039	-3,698	-5,239	28,714	2,379	0,856	33,638	29,073	27,996	49,08	35,05	24,62	14,03	10,42
Reaktor MBBR 2	45,223	30,971	29,430	72,381	55,817	25,000	5,547	1,310	-4,468	22,661	1,763	1,625	34,099	31,176	29,227	43,59	29,93	21,32	13,66	8,61
Reaktor SBR 3	25,193	22,304	2,080	62,558	43,297	29,237	35,015	-2,350	-6,202	17,121	1,599	0,317	33,125	30,663	27,842	34,50	24,47	14,87	10,03	9,60
Reaktor MBBR 3	49,461	42,142	0,000	67,662	64,291	41,949	2,080	-0,616	-7,550	20,968	2,040	1,517	43,589	35,536	34,356	45,42	36,00	19,46	9,42	16,55
Reaktor SBR 4	54,661	33,089	25,963	58,320	56,972	54,854	7,473	0,732	-4,854	20,353	1,907	0,338	33,227	32,920	27,483	41,64	31,22	27,16	10,42	4,06
Reaktor MBBR 4	39,445	36,749	-1,387	62,365	53,891	29,430	24,422	17,874	-6,009	20,866	1,881	0,307	33,945	29,791	13,121	39,16	30,58	10,37	8,58	20,21

	Analisis NO <sub>3</sub> N (mg/L) Konsentrasi 2000 mg/L																			
	Siklus 1			Siklus 2			Siklus 3			Siklus 4			Siklus 5			Rata-rata Influen	Rata-rata Aerobik	Rata-rata Anoksik	Peningkatan	Penurunan (N <sub>2</sub> bebas)
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14					
Reaktor SBR 1	22,414	18,462	7,898	11,846	13,086	7,635	7,711	8,726	7,823	9,139	13,086	8,199	10,831	12,410	8,312	13,56	14,26	8,01	0,70	6,25
Reaktor MBBR 1	20,383	19,853	9,102	12,786	13,425	9,778	8,838	12,485	7,598	10,793	12,786	8,462	11,470	16,132	10,229	13,86	15,55	9,39	1,69	6,16
Reaktor SBR 2	16,925	12,297	8,763	13,387	13,838	9,026	8,726	13,613	8,425	9,064	14,515	10,568	5,455	16,470	11,545	11,21	14,28	9,98	3,07	4,30
Reaktor MBBR 2	13,617	18,124	12,598	11,583	12,410	9,966	12,823	16,470	8,914	15,944	17,372	11,545	13,801	21,132	10,417	13,74	17,26	11,13	3,52	6,13
Reaktor SBR 3	16,774	17,635	15,568	12,523	16,320	11,808	10,192	16,056	14,477	12,673	19,064	17,823	11,921	16,282	15,530	13,47	17,33	15,18	3,85	2,14
Reaktor MBBR 3	10,609	8,613	7,109	8,425	12,861	8,350	9,628	10,117	7,109	8,312	12,184	10,492	9,289	11,470	6,658	9,16	11,28	8,15	2,12	3,13
Reaktor SBR 4	19,180	22,335	13,274	14,477	19,139	13,763	17,560	19,929	12,711	6,282	13,838	9,327	12,259	13,763	9,477	13,05	17,27	11,46	4,22	5,81
Reaktor MBBR 4	12,263	15,305	12,184	12,786	16,282	14,289	13,237	16,244	12,523	12,071	12,823	9,778	10,756	15,004	11,846	11,97	14,85	12,02	2,88	2,83

	Analisis TN (mg/L) Konsentrasi 2000 mg/L																				
	Siklus 1			Siklus 2			Siklus 3			Siklus 4			Siklus 5			Rata-rata Influen	Rata-rata Aerobik	Rata-rata Anoksik	Sel Aerobik	Denitrifikasi	Sel Anoksik
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14						
Reaktor SBR 1	37,013	22,854	7,898	62,655	37,701	22,620	35,214	26,021	6,822	32,672	14,932	8,747	48,880	32,096	27,126	45,30	26,90	16,60	18,41	10,30	4,05
Reaktor MBBR 1	44,613	35,223	9,102	75,729	62,115	57,120	25,171	23,040	1,011	33,147	14,406	9,672	44,236	46,589	38,276	49,43	39,58	28,54	9,85	11,04	4,88
Reaktor SBR 2	80,446	52,705	48,786	83,842	82,174	38,649	8,687	9,915	3,186	37,778	16,894	11,423	39,093	45,543	39,541	60,29	49,33	34,60	10,96	14,73	10,42
Reaktor MBBR 2	58,840	49,095	42,028	83,963	68,226	34,966	18,370	17,780	4,445	38,605	19,136	13,170	47,900	52,307	39,644	57,33	47,19	32,45	10,14	14,74	8,61
Reaktor SBR 3	41,967	39,939	17,648	75,080	59,617	41,046	45,207	13,707	8,276	29,794	20,663	18,140	45,046	46,945	43,372	47,97	41,79	30,05	6,18	11,74	9,60
Reaktor MBBR 3	60,070	50,755	7,109	76,087	77,152	50,299	11,708	9,500	-0,441	29,280	14,225	12,010	52,878	47,005	41,014	54,58	47,28	27,61	7,29	19,68	16,55
Reaktor SBR 4	73,841	55,424	39,237	72,798	76,111	68,617	25,033	20,660	7,857	26,635	15,745	9,665	45,487	46,683	36,960	54,69	48,49	38,62	6,20	9,87	4,06
Reaktor MBBR 4	51,708	52,053	10,797	75,151	70,173	43,719	37,659	34,118	6,513	32,937	14,705	10,085	44,701	44,795	24,967	51,12	45,43	22,39	5,69	23,04	20,21

	Analisis TN (%) Konsentrasi 2000 mg/L																			
	Siklus 1			Siklus 2			Siklus 3			Siklus 4			Siklus 5			Aerobik	Aerobik + Anoksik	Denitrifikasi	Sel Anoksik	Anoksik
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14					
Reaktor SBR 1	0,00%	38,25%	78,66%	0,00%	39,83%	63,90%	0,00%	26,11%	80,63%	0,00%	54,30%	73,23%	0,00%	34,34%	44,50%	40,63%	63,36%	35,87%	14,10%	22,73%
Reaktor MBBR 1	0,00%	21,05%	79,60%	0,00%	17,98%	24,57%	0,00%	8,47%	95,98%	0,00%	56,54%	70,82%	0,00%	-5,32%	13,47%	19,92%	42,26%	52,86%	23,38%	22,34%
Reaktor SBR 2	0,00%	34,48%	39,35%	0,00%	1,99%	53,90%	0,00%	-14,13%	63,32%	0,00%	55,28%	69,76%	0,00%	-16,50%	-1,15%	18,18%	42,61%	57,34%	40,58%	24,43%
Reaktor MBBR 2	0,00%	16,56%	28,57%	0,00%	18,74%	58,36%	0,00%	3,22%	75,80%	0,00%	50,43%	65,88%	0,00%	-9,20%	17,24%	17,68%	43,39%	59,25%	34,62%	25,71%
Reaktor SBR 3	0,00%	4,83%	57,95%	0,00%	20,60%	45,33%	0,00%	69,68%	81,69%	0,00%	30,65%	39,12%	0,00%	-4,22%	3,72%	12,88%	37,36%	65,51%	53,55%	24,47%
Reaktor MBBR 3	0,00%	15,51%	88,17%	0,00%	-1,40%	33,89%	0,00%	18,86%	103,77%	0,00%	51,42%	58,98%	0,00%	11,11%	22,44%	13,37%	49,42%	72,95%	61,35%	36,05%
Reaktor SBR 4	0,00%	24,94%	46,86%	0,00%	-4,55%	5,74%	0,00%	17,47%	68,61%	0,00%	40,88%	63,71%	0,00%	-2,63%	18,75%	11,34%	29,38%	61,42%	25,28%	18,05%
Reaktor MBBR 4	0,00%	-0,67%	79,12%	0,00%	6,62%	41,82%	0,00%	9,40%	82,70%	0,00%	55,36%	69,38%	0,00%	-0,21%	44,15%	11,14%	56,20%	80,19%	70,34%	45,06%

### Analisis PV (Permanganat Value)

	Analisis PV (mg/L) Konsentrasi 2000 mg/L														
	Siklus 1			Siklus 2			Siklus 3			Siklus 4			Siklus 5		
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Reaktor SBR 1	1580	1532,6	1485,2	1437,8	1406,2	1358,8	1343	1295,6	758,4	1232,4	1200,8	805,8	1121,8	869	568,8
Reaktor MBBR 1	1896	1659	1485,2	1532,6	1469,4	1406,2	1343	1327,2	916,4	1390,4	995,4	647,8	1627,4	916,4	663,6
Reaktor SBR 2	1832,8	1501	1485,2	1516,8	1390,4	979,6	1327,2	1090,2	1074,4	1548,4	1200,8	853,2	1106	790	537,2
Reaktor MBBR 2	1580	1526,28	1311,4	1422	1311,4	1058,6	1264	1200,8	837,4	1311,4	1264	869	900,6	805,8	647,8
Reaktor SBR 3	1485,2	1516,8	1501	1485,2	1232,4	1153,4	1137,6	916,4	553	1027	979,6	568,8	821,6	600,4	537,2
Reaktor MBBR 3	1548,4	1453,6	1422	1469,4	1295,6	1232,4	1216,6	1169,2	742,6	1216,6	1106	726,8	1311,4	584,6	553
Reaktor SBR 4	1422	1390,4	1295,6	1580	1406,2	1327,2	1343	1153,4	1137,6	1611,6	1311,4	963,8	900,6	632	584,6
Reaktor MBBR 4	1279,8	1185	1153,4	1311,4	1295,6	1232,4	1279,8	1248,2	948	1422	1074,4	726,8	1185	711	553

### Konversi Nilai PV ke COD

	Nilai COD (mg/L)														
	Konsentrasi COD 2000 mg/L														
	Siklus 1			Siklus 2			Siklus 3			Siklus 4			Siklus 5		
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Reaktor SBR 1	1750	1623	1500	1758	1678	1582	1642	1546	883	1506	1433	938	1500	1154	750
Reaktor MBBR 1	2000	1573	1250	1750	1702	1651	1534	1537	1076	1588	1153	761	2000	1254	1000
Reaktor SBR 2	2750	2010	1750	2681	2285	1489	2346	1792	1633	2737	1974	1297	2250	1539	1000
Reaktor MBBR 2	1750	1718	1500	1577	1355	1014	1402	1241	802	1454	1306	832	1000	758	500
Reaktor SBR 3	2750	2415	2000	2505	1880	1574	1919	1398	754	1732	1494	776	1250	876	750
Reaktor MBBR 3	2500	1940	1500	1746	1404	1207	1446	1267	727	1446	1199	712	1000	487	500
Reaktor SBR 4	2250	2173	2000	3004	2782	2727	2554	2282	2338	3064	2594	1980	2000	1513	1500
Reaktor MBBR 4	1500	1337	1250	1460	1658	1782	1425	1597	1371	1583	1375	1051	1250	1018	1000



**Analisis MLSS (*Mix Liquor Suspended Solid*) dan Analisis MLVSS (*Mix Liquor Volatile Suspended Solid*)**

	Analisis MLSS (mg/L) Konsentrasi COD 2000 mg/L										MLVSS (mg/L) COD 2000 mg/L	
	Siklus 1		Siklus 2		Siklus 3		Siklus 4		Siklus 5		Siklus 1	Siklus 5
	0	2	3	5	6	8	9	11	12	14	0	12
Reaktor SBR 1	5421,687	2309,237	1552,795	2173,913	2824,268	1464,435	2777,778	1709,402	4725,275	1978,022	5398,4	4299,6
Reaktor MBBR 1	5050,505	1414,141	2783,505	1649,485	1145,833	1145,833	1935,484	1075,269	3414,097	1211,454	4999,4	3098,8
Reaktor SBR 2	9619,238	1603,206	5578,512	1962,81	1774,53	1878,914	2878,465	2878,465	6813,187	2527,473	9591,4	6199,6
Reaktor MBBR 2	8651,911	1609,658	838,5744	1572,327	2890,792	1177,73	4586,13	1342,282	3801,843	1843,318	8598,6	3299,6
Reaktor SBR 3	6262,626	1111,111	922,1311	1946,721	1781,971	1886,792	1403,888	1187,905	4535,398	2654,867	6199,4	4099,6
Reaktor MBBR 3	6868,687	1414,141	1026,694	1129,363	1987,448	1255,23	1602,564	1495,726	3846,154	1758,242	6799,4	3499,6
Reaktor SBR 4	9898,99	5656,566	7448,98	3571,429	3854,167	3541,667	2564,103	4807,692	4955,947	4845,815	9793,6	4499,6
Reaktor MBBR 4	6666,667	1515,152	5000	1326,531	2609,603	1252,61	2473,118	3655,914	4615,385	2527,473	6599	4196,2

**Konversi nilai COD ke TOC (*Total Organic Compound*)**

	Nilai TOC (mg/L)														
	Konsentrasi COD 2000 mg/L														
	Siklus 1			Siklus 2			Siklus 3			Siklus 4			Siklus 5		
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Reaktor SBR 1	653	606	560	656	626	590	613	577	330	562	535	350	560	431	280
Reaktor MBBR 1	746	587	467	653	635	616	572	574	402	593	430	284	746	468	373
Reaktor SBR 2	1026	750	653	1001	853	556	876	669	609	1021	737	484	840	574	373
Reaktor MBBR 2	653	641	560	589	506	378	523	463	299	543	488	311	373	283	187
Reaktor SBR 3	1026	901	746	935	702	587	716	522	282	646	558	290	467	327	280
Reaktor MBBR 3	933	724	560	652	524	451	540	473	271	540	447	266	373	182	187
Reaktor SBR 4	840	811	746	1121	1038	1018	953	852	872	1144	968	739	746	565	560
Reaktor MBBR 4	560	499	467	545	619	665	532	596	512	591	513	392	467	380	373

### Nilai Rasio C/N (TOC/TN)

	Nilai Rasio C/N														
	Konsentrasi COD 2000 mg/L														
	Siklus 1			Siklus 2			Siklus 3			Siklus 4			Siklus 5		
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Reaktor SBR 1	1,76	2,65	7,09	1,05	1,66	2,61	1,74	2,22	4,83	1,72	3,58	4,00	1,15	1,34	1,03
Reaktor MBBR 1	1,67	1,67	5,13	0,86	1,02	1,08	2,27	2,49	39,74	1,79	2,99	2,94	1,69	1,00	0,98
Reaktor SBR 2	1,28	1,42	1,34	1,19	1,04	1,44	10,08	6,75	19,13	2,70	4,36	4,24	2,15	1,26	0,94
Reaktor MBBR 2	1,11	1,31	1,33	0,70	0,74	1,08	2,85	2,60	6,73	1,41	2,55	2,36	0,78	0,54	0,47
Reaktor SBR 3	2,45	2,26	4,23	1,25	1,18	1,43	1,58	3,81	3,40	2,17	2,70	1,60	1,04	0,70	0,65
Reaktor MBBR 3	1,55	1,43	7,88	0,86	0,68	0,90	4,61	4,98	0,00	1,84	3,15	2,21	0,71	0,39	0,46
Reaktor SBR 4	1,14	1,46	1,90	1,54	1,36	1,48	3,81	4,12	11,10	4,29	6,15	7,65	1,64	1,21	1,51
Reaktor MBBR 4	1,08	0,96	4,32	0,73	0,88	1,52	1,41	1,75	7,86	1,79	3,49	3,89	1,04	0,85	1,49
Rata-rata		1,64	4,15		1,07	1,44		3,59	11,60		3,62	3,61		0,91	0,94
Rata-rata aerobik atau anoksik		2,17	4,35												

### Analisis pH, Alkalinitas dan Salinitas

	Konsentrasi COD 2000 mg/L					
	pH		Salinitas (ppt)		Alkalinitas (mg/L)	
	0	14	0	14	0	14
Reaktor SBR 1	8,28	8,12	1,66	1,04	30	180
Reaktor MBBR 1	8,34	8,19	1,60	1,36	60	190
Reaktor SBR 2	8,02	7,93	1,37	1,25	40	190
Reaktor MBBR 2	8,37	8,44	1,55	1,36	40	180
Reaktor SBR 3	8,30	8,35	1,70	1,40	60	180
Reaktor MBBR 3	8,25	8,01	1,73	1,51	50	180
Reaktor SBR 4	8,17	8,06	1,52	1,34	50	190
Reaktor MBBR 4	8,51	8,32	1,66	1,42	40	180

**Analisis BOD (*Biochemical Oxygen Demand*), COD (*Chemical Oxygen Demand*) dan Rasio BOD/COD**

	Konsentrasi COD 2000 mg/L									
	BOD <sub>5</sub> (mg/L)		COD (mg/L)				Rasio BOD/COD		F/M	
	0	14	0	2	12	14	0	14	1	14
Reaktor SBR 1	579,223	63,200	1750	1500	1500	750	0,331	0,042	0,107	0,015
Reaktor MBBR 1	300,674	75,840	2000	1250	2000	2000	0,150	0,038	0,060	0,024
Reaktor SBR 2	597,240	146,624	2750	1750	2250	2000	0,217	0,065	0,062	0,024
Reaktor MBBR 2	541,782	63,200	1750	1500	2000	500	0,310	0,063	0,063	0,019
Reaktor SBR 3	501,176	89,112	2750	2000	1250	750	0,182	0,071	0,081	0,022
Reaktor MBBR 3	373,828	123,872	3500	1500	2000	500	0,150	0,124	0,055	0,035
Reaktor SBR 4	544,152	71,100	2250	2000	2000	1500	0,242	0,036	0,056	0,016
Reaktor MBBR 4	618,570	51,192	1500	1250	1250	2000	0,412	0,041	0,094	0,012

- Konsentrasi Lindi COD 3500 mg/L

### Analisis Nitrogen (NH<sub>3</sub>N dan NO<sub>3</sub>N)

	Analisis NH <sub>3</sub> N (mg/L) Konsentrasi 3500 mg/L																			
	Siklus 1			Siklus 2			Siklus 3			Siklus 4			Siklus 5			Rata-rata Influen	Rata-rata Aerobik	Rata-rata Anoksik	Removal Aerobik	Removal Anoksik
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14					
Reaktor SBR 1	17,619	15,054	11,849	7,873	4,155	3,962	0,692	0,628	0,372	9,348	2,295	1,141	9,156	5,373	-3,667	8,88	5,53	4,33	3,35	1,20
Reaktor MBBR 1	22,556	7,809	6,206	32,686	4,924	4,539	17,106	4,988	2,744	18,068	5,950	5,437	14,477	12,233	10,374	22,60	5,92	4,73	16,69	1,19
Reaktor SBR 2	18,260	14,926	10,695	29,993	10,246	5,373	18,773	7,681	3,385	16,786	10,182	0,000	20,248	11,143	3,385	20,95	10,76	4,86	10,19	5,90
Reaktor MBBR 2	14,093	8,707	6,463	8,130	5,373	4,860	7,938	4,347	1,911	22,941	14,029	2,680	20,568	16,593	14,670	13,28	8,11	3,98	5,16	4,14
Reaktor SBR 3	12,490	9,412	6,527	32,045	4,604	3,770	11,528	6,399	3,385	14,285	6,078	3,706	18,132	13,708	-3,026	17,59	6,62	4,35	10,96	2,28
Reaktor MBBR 3	22,877	20,184	10,053	19,158	9,284	5,950	25,826	18,260	15,054	34,738	21,402	0,000	33,520	12,426	3,834	25,65	17,28	7,76	8,37	9,52
Reaktor SBR 4	13,067	7,681	5,373	34,994	6,591	5,886	14,734	12,490	3,065	18,517	3,449	0,692	15,503	11,336	7,360	20,33	7,55	3,75	12,78	3,80
Reaktor MBBR 4	24,031	7,360	6,848	27,942	3,514	3,449	5,116	1,975	0,628	16,786	4,283	-0,782	21,210	16,465	4,924	18,47	4,28	2,54	14,19	1,75

	Analisis NO <sub>3</sub> N (mg/L) Konsentrasi 3500 mg/L																			
	Siklus 1			Siklus 2			Siklus 3			Siklus 4			Siklus 5			Rata-rata Influen	Rata-rata Aerobik	Rata-rata Anoksik	Peningkatan	Penurunan (N <sub>2</sub> bebas)
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14					
Reaktor SBR 1	4,670	12,587	3,926	8,384	17,129	5,978	10,865	16,053	9,692	12,723	17,948	6,144	8,264	12,302	8,023	9,16	15,93	6,43	6,77	9,49
Reaktor MBBR 1	5,234	6,895	2,527	8,753	9,926	4,151	7,993	17,181	7,587	7,753	10,189	5,136	7,444	8,422	2,715	7,43	11,05	4,85	3,61	6,20
Reaktor SBR 2	2,181	9,888	1,302	7,572	11,061	3,918	2,527	5,279	2,452	4,407	5,046	2,971	4,038	4,580	2,181	4,17	7,82	2,66	3,65	5,16
Reaktor MBBR 2	8,234	12,362	7,196	9,016	16,241	7,692	5,956	6,685	3,392	5,114	7,144	4,422	4,790	6,196	3,489	7,08	10,61	5,68	3,53	4,93
Reaktor SBR 3	7,505	14,414	6,362	3,805	6,783	2,505	5,610	8,640	2,023	5,963	6,083	5,264	6,144	7,189	4,542	5,72	8,98	4,04	3,26	4,94
Reaktor MBBR 3	6,768	7,429	6,655	6,347	17,572	1,948	9,918	10,114	6,655	12,061	12,572	2,068	8,520	15,008	3,700	8,77	11,92	4,33	3,15	7,59
Reaktor SBR 4	5,399	13,895	2,068	4,129	13,948	2,520	3,986	5,730	3,474	5,557	6,865	4,399	4,640	6,211	3,858	4,77	10,11	3,12	5,34	6,99
Reaktor MBBR 4	7,708	13,738	5,520	10,369	12,369	10,121	4,775	7,640	2,339	6,873	8,174	5,008	8,873	8,926	6,595	7,43	10,48	5,75	3,05	4,73

	Analisis TN (mg/L) Konsentrasi 3500 mg/L																				
	Siklus 1			Siklus 2			Siklus 3			Siklus 4			Siklus 5			Rata-rata Influen	Rata-rata Aerobik	Rata-rata Anoksik	Sel Aerobik	Denitrifikasi	Sel Anoksik
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14						
Reaktor SBR 1	22,289	27,642	15,774	16,258	21,283	9,941	11,558	16,682	10,064	22,071	20,243	7,285	17,420	17,674	4,356	18,04	21,46	10,77	-3,42	10,70	1,20
Reaktor MBBR 1	27,790	14,705	8,733	41,439	14,850	8,691	25,099	22,169	10,331	25,820	16,139	10,573	21,922	20,655	13,089	30,04	16,97	9,58	13,07	7,38	1,19
Reaktor SBR 2	20,441	24,814	11,996	37,566	21,307	9,291	21,300	12,960	5,837	21,192	15,227	2,971	24,286	15,723	5,567	25,12	18,58	7,52	6,55	11,05	5,90
Reaktor MBBR 2	22,326	21,069	13,659	17,146	21,614	12,552	13,893	11,032	5,302	28,054	21,172	7,102	25,359	22,789	18,159	20,35	18,72	9,65	1,63	9,07	4,14
Reaktor SBR 3	19,994	23,826	12,889	35,850	11,386	6,275	17,138	15,039	5,409	20,248	12,162	8,970	24,276	20,897	1,516	23,31	15,60	8,39	7,70	7,22	2,28
Reaktor MBBR 3	29,644	27,613	16,708	25,504	26,856	7,898	35,744	28,374	21,709	46,799	33,974	2,068	42,039	27,434	7,534	34,42	29,20	12,10	5,22	17,11	9,52
Reaktor SBR 4	18,466	21,577	7,441	39,123	20,539	8,405	18,720	18,220	6,539	24,074	10,315	5,092	20,143	17,547	11,218	25,10	17,66	6,87	7,43	10,79	3,80
Reaktor MBBR 4	31,738	21,098	12,367	38,311	15,883	13,570	9,892	9,615	2,967	23,658	12,457	4,226	30,082	25,391	11,519	25,90	14,76	8,28	11,14	6,48	1,75

	Analisis TN (%) Konsentrasi 3500 mg/L																			
	Siklus 1			Siklus 2			Siklus 3			Siklus 4			Siklus 5			Aerobik	Aerobik + Anoksik	Denitrifikasi	Sel Anoksik	Anoksik
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14					
Reaktor SBR 1	0,00%	-24,01%	29,23%	0,00%	-30,91%	38,86%	0,00%	-44,33%	12,92%	0,00%	8,28%	66,99%	0,00%	-1,46%	74,99%	-18,95%	40,33%	146,98%	16,52%	59,28%
Reaktor MBBR 1	0,00%	47,09%	68,57%	0,00%	64,16%	79,03%	0,00%	11,67%	58,84%	0,00%	37,50%	59,05%	0,00%	5,78%	40,29%	43,52%	68,10%	36,10%	5,80%	24,58%
Reaktor SBR 2	0,00%	-21,39%	41,32%	0,00%	43,28%	75,27%	0,00%	39,16%	72,60%	0,00%	28,15%	85,98%	0,00%	35,26%	77,08%	26,06%	70,05%	62,80%	33,49%	43,99%
Reaktor MBBR 2	0,00%	5,63%	38,82%	0,00%	-26,06%	26,79%	0,00%	20,59%	61,83%	0,00%	24,53%	74,69%	0,00%	10,13%	28,39%	8,02%	52,57%	84,74%	38,65%	44,55%
Reaktor SBR 3	0,00%	-19,17%	35,54%	0,00%	68,24%	82,50%	0,00%	12,25%	68,44%	0,00%	39,94%	55,70%	0,00%	13,92%	93,76%	33,06%	64,02%	48,37%	15,25%	30,97%
Reaktor MBBR 3	0,00%	6,85%	43,64%	0,00%	-5,30%	69,03%	0,00%	20,62%	39,26%	0,00%	27,40%	95,58%	0,00%	34,74%	82,08%	15,16%	64,86%	76,63%	42,63%	49,70%
Reaktor SBR 4	0,00%	-16,84%	59,70%	0,00%	47,50%	78,52%	0,00%	2,67%	65,07%	0,00%	57,15%	78,85%	0,00%	12,89%	44,31%	29,62%	72,63%	59,22%	20,84%	43,01%
Reaktor MBBR 4	0,00%	33,52%	61,03%	0,00%	58,54%	64,58%	0,00%	2,80%	70,00%	0,00%	47,35%	82,14%	0,00%	15,60%	61,71%	43,00%	68,02%	36,78%	9,92%	25,02%

### Analisis PV (*Permanganat Value*)

	Analisis PV (mg/L) Konsentrasi 3500 mg/L														
	Siklus 1			Siklus 2			Siklus 3			Siklus 4			Siklus 5		
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Reaktor SBR 1	1927,6	1738	1659	1422	1200,8	1137,6	1453,6	948	805,8	916,4	869	774,2	900,6	853,2	774,2
Reaktor MBBR 1	1990,8	1943,4	1880,2	3239	2259,4	1643,2	2085,6	1911,8	1485,2	1516,8	1422	663,6	2291	1422	1358,8
Reaktor SBR 2	1896	1864,4	1848,6	2859,8	2496,4	2180,4	2275,2	1580	1516,8	1864,4	1548,4	1279,8	1674,8	1343	1248,2
Reaktor MBBR 2	1753,8	1422	1248,2	1738	1406,2	1106	1564,2	1374,6	1090,2	1975	1769,6	1185	2164,6	2069,8	1279,8
Reaktor SBR 3	1975	1911,8	1896	2686	1185	1169,2	1200,8	1058,6	426,6	1137,6	1027	553	1248,2	1011,2	758,4
Reaktor MBBR 3	1959,2	1864,4	1153,4	742,6	726,8	600,4	2464,8	1943,4	489,8	2117,2	1864,4	758,4	2227,8	1927,6	1864,4
Reaktor SBR 4	1959,2	1864,4	1832,8	3065,2	2543,8	1896	2559,6	1801,2	1516,8	1722,2	1358,8	1311,4	1469,4	1106	632
Reaktor MBBR 4	1975	1706,4	1674,8	1169,2	679,4	616,2	1058,6	805,8	600,4	1153,4	790	663,6	1232,4	1074,4	1011,2

### Konversi Nilai PV ke COD

	Nilai COD (mg/L)														
	Konsentrasi COD 3500 mg/L														
	Siklus 1			Siklus 2			Siklus 3			Siklus 4			Siklus 5		
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Reaktor SBR 1	2300	1980	1800	1638	1366	1278	1674	1079	906	1055	989	870	1000	970	900
Reaktor MBBR 1	2200	1901	1600	2779	1949	1425	1790	1649	1288	1302	1227	575	1400	1062	1200
Reaktor SBR 2	3200	2935	2700	4548	3596	2815	3618	2276	1958	2965	2231	1652	2500	1756	1400
Reaktor MBBR 2	1900	1511	1300	1303	1031	792	1172	1007	781	1480	1297	849	900	835	500
Reaktor SBR 3	5500	5183	5000	4924	2141	2081	2201	1912	759	2085	1855	984	1100	912	700
Reaktor MBBR 3	3900	4604	3400	956	1091	1030	3172	2917	840	2725	2799	1301	1300	1028	900
Reaktor SBR 4	4100	3171	2400	4772	3718	2591	3985	2633	2073	2681	1986	1792	1500	1352	900
Reaktor MBBR 4	6100	5488	5600	2327	1328	1183	2107	1575	1152	2296	1544	1273	1100	745	500

**Analisis MLSS (*Mix Liquor Suspended Solid*) dan Analisis MLVSS (*Mix Liquor Volatile Suspended Solid*)**

	Analisis MLSS (mg/L) COD 3500 mg/L										MLVSS (mg/L) COD 3500 mg/L	
	Siklus 1		Siklus 2		Siklus 3		Siklus 4		Siklus 5		Siklus 1	Siklus 5
	0	2	3	5	6	8	9	11	12	14	0	12
Reaktor SBR 1	3973,51	4194,26	3181,818	2727,273	2298,851	1379,31	1814,516	1814,516	740,7407	1481,481	3597,6	599,4
Reaktor MBBR 1	3695,652	3913,043	7572,383	3118,04	2790,698	3953,488	1028,807	823,0453	987,6543	987,6543	3398,2	799,6
Reaktor SBR 2	3658,537	3861,789	4384,134	1670,146	1057,082	2114,165	1428,571	2040,816	2222,222	1728,395	3598,6	1799,2
Reaktor MBBR 2	4291,845	4291,845	5145,414	1342,282	5227,273	3636,364	2061,856	1237,113	3950,617	2716,049	3998,2	3199,8
Reaktor SBR 3	3497,942	3909,465	4454,343	4677,06	4988,662	1133,787	412,3711	206,1856	2716,049	987,6543	3399,2	2199,4
Reaktor MBBR 3	3305,785	3719,008	2751,323	1269,841	2580,645	860,2151	1229,508	2663,934	493,8272	1728,395	3198,2	399,6
Reaktor SBR 4	3448,276	3232,759	11037,53	4856,512	3393,665	3619,91	2669,405	1026,694	2469,136	1481,481	3198	1995,4
Reaktor MBBR 4	3497,942	3086,42	4842,105	4210,526	6047,516	1079,914	1020,408	2244,898	5432,099	1481,481	3396,4	4399,8

**Konversi nilai COD ke TOC (*Total Organic Compound*)**

	Nilai TOC (mg/L)														
	Konsentrasi COD 3500 mg/L														
	Siklus 1			Siklus 2			Siklus 3			Siklus 4			Siklus 5		
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Reaktor SBR 1	858	739	672	611	510	477	625	403	338	394	369	325	373	362	336
Reaktor MBBR 1	821	709	597	1037	727	532	668	615	481	486	458	215	523	397	448
Reaktor SBR 2	1194	1095	1008	1697	1342	1051	1350	850	731	1107	833	617	933	655	523
Reaktor MBBR 2	709	564	485	486	385	296	438	376	291	553	484	317	336	312	187
Reaktor SBR 3	2053	1934	1866	1838	799	777	822	714	283	778	692	367	411	340	261
Reaktor MBBR 3	1456	1718	1269	357	407	384	1184	1089	314	1017	1045	486	485	384	336
Reaktor SBR 4	1530	1184	896	1781	1388	967	1487	983	774	1001	741	669	560	505	336
Reaktor MBBR 4	2277	2048	2090	869	496	441	787	588	430	857	576	475	411	278	187

### Nilai Rasio C/N (TOC/TN)

	Nilai Rasio C/N														
	Konsentrasi COD 3500 mg/L														
	Siklus 1			Siklus 2			Siklus 3			Siklus 4			Siklus 5		
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Reaktor SBR 1	3,85	2,67	4,26	3,76	2,40	4,80	5,41	2,41	3,36	1,78	1,82	4,46	2,14	2,05	7,71
Reaktor MBBR 1	2,95	4,82	6,84	2,50	4,90	6,12	2,66	2,78	4,65	1,88	2,84	2,03	2,38	1,92	3,42
Reaktor SBR 2	5,84	4,41	8,40	4,52	6,30	11,31	6,34	6,56	12,52	5,22	5,47	20,76	3,84	4,17	9,39
Reaktor MBBR 2	3,18	2,68	3,55	2,84	1,78	2,35	3,15	3,41	5,50	1,97	2,29	4,46	1,32	1,37	1,03
Reaktor SBR 3	10,27	8,12	14,48	5,13	7,02	12,38	4,79	4,75	5,24	3,84	5,69	4,10	1,69	1,63	17,24
Reaktor MBBR 3	4,91	6,22	7,60	1,40	1,52	4,87	3,31	3,84	1,44	2,17	3,07	23,47	1,15	1,40	4,46
Reaktor SBR 4	8,29	5,49	12,04	4,55	6,76	11,51	7,94	5,39	11,83	4,16	7,19	13,14	2,78	2,88	2,99
Reaktor MBBR 4	7,17	9,71	16,90	2,27	3,12	3,25	7,95	6,11	14,49	3,62	4,63	11,25	1,36	1,10	1,62
Rata-rata		6,10	10,49		4,42	7,61		5,01	8,50		4,72	12,86		2,09	6,10
Rata-rata aerobik atau anoksik		4,47	9,11												

### Analisis pH, Alkalinitas dan Salinitas

	Konsentrasi COD 3500 mg/L					
	pH		Salinitas (ppt)		Alkalinitas (mg/L)	
	0	14	0	14	0	14
Reaktor SBR 1	7,76	7,74	1,61	1,41	120	130
Reaktor MBBR 1	7,90	7,95	1,63	1,41	60	100
Reaktor SBR 2	7,92	8,16	1,63	1,50	110	110
Reaktor MBBR 2	7,75	8,22	1,61	1,37	80	110
Reaktor SBR 3	7,68	8,06	1,67	1,38	90	90
Reaktor MBBR 3	7,75	7,75	1,58	1,47	80	100
Reaktor SBR 4	7,79	7,94	1,65	1,37	90	100
Reaktor MBBR 4	7,82	8,11	1,54	1,36	80	90



**Analisis BOD (*Biochemical Oxygen Demand*), COD (*Chemical Oxygen Demand*) dan Rasio BOD/COD**

	Konsentrasi COD 3500 mg/L									
	BOD <sub>5</sub> (mg/L)		COD (mg/L)				Rasio BOD/COD		F/M	
	0	14	0	2	12	14	0	14	1	14
Reaktor SBR 1	520,452	100,646	2300	1800	2000	900	0,226	0,101	0,145	0,168
Reaktor MBBR 1	577,332	572,75	2200	1600	1400	1200	0,262	0,409	0,170	0,716
Reaktor SBR 2	492,96	234,472	3200	2700	3500	1400	0,154	0,094	0,137	0,130
Reaktor MBBR 2	543,678	497,858	1900	1300	900	500	0,286	0,553	0,136	0,156
Reaktor SBR 3	493,75	162,266	5500	5000	1100	700	0,09	0,148	0,145	0,074
Reaktor MBBR 3	626,88	346,968	3900	3400	1300	900	0,161	0,267	0,196	0,868
Reaktor SBR 4	509,34	191,022	4100	2400	1500	900	0,124	0,127	0,159	0,096
Reaktor MBBR 4	513,5	160,212	6100	5600	1100	500	0,084	0,146	0,151	0,036

- **Konsentrasi Lindi COD 5000 mg/L**

### **Analisis Nitrogen (NH<sub>3</sub>N dan NO<sub>3</sub>N)**

	Analisis NH <sub>3</sub> N (mg/L) Konsentrasi 5000 mg/L																			
	Siklus 1			Siklus 2			Siklus 3			Siklus 4			Siklus 5			Rata-rata Influen	Rata-rata Aerobik	Rata-rata Anoksik	Removal Aerobik	Removal Anoksik
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14					
<b>Reaktor SBR 1</b>	942,14	528,43	210,25	189,45	83,13	47,69	139,37	128,20	22,65	177,50	84,28	75,42	114,71	60,40	54,24	362,11	206,01	89,00	156,11	117,01
<b>Reaktor MBBR 1</b>	838,14	514,56	193,30	117,03	81,20	53,08	214,48	88,52	16,10	210,63	135,13	89,68	65,41	40,76	35,75	345,07	204,85	88,04	140,22	116,81
<b>Reaktor SBR 2</b>	877,04	534,98	261,86	157,47	85,05	42,30	261,48	192,91	147,07	215,25	169,03	45,38	21,88	14,95	11,48	377,81	245,49	124,15	132,32	121,34
<b>Reaktor MBBR 2</b>	880,51	531,51	303,08	236,83	78,89	32,28	190,60	189,06	188,29	163,25	153,24	80,43	68,88	28,43	12,25	367,80	238,17	151,02	129,62	87,15
<b>Reaktor SBR 3</b>	936,36	474,50	235,29	157,86	85,05	72,73	250,69	244,14	25,73	226,43	171,73	134,36	55,01	38,06	25,35	392,84	243,86	117,03	148,98	126,83
<b>Reaktor MBBR 3</b>	912,87	419,03	241,06	156,32	119,34	96,61	273,42	208,71	199,85	207,55	185,59	162,87	50,39	25,35	21,88	387,54	233,17	175,10	154,37	58,07
<b>Reaktor SBR 4</b>	913,25	544,99	207,16	177,12	80,43	26,12	263,79	261,09	95,84	154,01	149,38	143,22	47,69	45,76	20,34	377,04	258,98	118,09	118,07	140,89
<b>Reaktor MBBR 4</b>	892,45	508,78	236,06	174,81	74,65	13,79	196,76	182,90	138,60	245,30	154,78	135,13	38,44	15,33	12,63	377,33	230,28	130,89	147,05	99,38

	Analisis NO <sub>3</sub> N (mg/L) Konsentrasi 5000 mg/L																			
	Siklus 1			Siklus 2			Siklus 3			Siklus 4			Siklus 5			Rata-rata Influen	Rata-rata Aerobik	Rata-rata Anoksik	Peningkatan	Penurunan (N <sub>2</sub> bebas)
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14					
<b>Reaktor SBR 1</b>	14,82	61,07	36,26	12,86	6,62	5,64	11,76	15,94	13,95	14,78	16,09	13,01	14,82	14,85	11,28	13,56	24,93	17,22	11,38	7,72
<b>Reaktor MBBR 1</b>	15,83	75,05	24,98	10,76	5,61	6,47	11,34	15,64	11,96	13,50	15,68	13,12	15,83	16,47	11,21	12,86	28,00	14,13	15,14	13,86
<b>Reaktor SBR 2</b>	13,91	131,44	25,88	38,73	34,21	6,77	12,63	17,15	10,57	14,40	14,52	13,88	13,91	14,63	8,50	19,92	49,33	14,27	29,41	35,06
<b>Reaktor MBBR 2</b>	13,76	108,89	23,92	25,57	30,72	7,56	14,32	21,55	12,30	14,78	23,46	12,94	13,76	14,40	11,24	17,11	46,15	14,18	29,05	31,97
<b>Reaktor SBR 3</b>	13,73	97,46	25,73	39,26	29,21	11,09	15,91	20,34	14,97	13,58	15,42	12,48	13,73	20,76	13,39	20,62	40,61	16,07	19,99	24,54
<b>Reaktor MBBR 3</b>	13,20	69,49	24,83	23,39	24,97	11,36	17,00	21,43	9,10	13,46	15,08	11,17	13,20	18,80	12,22	16,76	32,74	14,11	15,98	18,63
<b>Reaktor SBR 4</b>	14,29	69,79	20,92	56,85	32,18	5,34	14,59	28,80	17,00	19,03	22,26	18,54	14,29	16,58	16,17	26,19	38,26	15,45	12,07	22,81
<b>Reaktor MBBR 4</b>	15,08	75,95	46,78	36,10	23,16	12,64	17,54	23,73	16,43	15,23	23,09	14,82	15,08	17,82	13,73	20,99	36,48	22,67	15,50	13,82

	Analisis TN (mg/L) Konsentrasi 5000 mg/L																				
	Siklus 1			Siklus 2			Siklus 3			Siklus 4			Siklus 5			Rata-rata Influen	Rata-rata Aerobik	Rata-rata Anoksik	Sel Aerobik	Denitrifikasi	Sel Anoksik
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14						
Reaktor SBR 1	956,96	589,50	246,50	202,31	89,75	53,33	151,13	144,14	36,60	192,28	100,38	88,44	129,53	75,25	65,52	375,67	230,94	106,22	144,73	124,72	117,01
Reaktor MBBR 1	853,97	589,61	218,27	127,79	86,81	59,55	225,83	104,16	28,06	224,13	150,81	102,80	81,24	57,22	46,95	357,93	232,85	102,17	125,08	130,68	116,81
Reaktor SBR 2	890,96	666,42	287,74	196,20	119,27	49,07	274,11	210,06	157,64	229,66	183,54	59,25	35,79	29,57	19,98	397,73	294,82	138,43	102,91	156,40	121,34
Reaktor MBBR 2	894,27	640,40	327,01	262,40	109,61	39,84	204,92	210,61	200,59	178,03	176,70	93,37	82,64	42,83	23,49	384,90	284,33	165,20	100,58	119,13	87,15
Reaktor SBR 3	950,09	571,96	261,01	197,11	114,27	83,82	266,61	264,49	40,70	240,00	187,14	146,85	68,73	58,81	38,73	413,45	284,46	133,09	128,99	151,37	126,83
Reaktor MBBR 3	926,07	488,52	265,89	179,71	144,30	107,97	290,42	230,14	208,95	221,01	200,67	174,04	63,58	44,15	34,10	404,30	265,91	189,21	138,39	76,70	58,07
Reaktor SBR 4	927,54	614,78	228,08	233,97	112,62	31,46	278,38	289,89	112,84	173,03	171,64	161,76	61,98	62,35	36,51	403,23	297,23	133,53	106,00	163,70	140,89
Reaktor MBBR 4	907,53	584,74	282,84	210,91	97,81	26,43	214,30	206,62	155,03	260,53	177,86	149,95	53,52	33,15	26,36	398,32	266,76	153,56	131,56	113,20	99,38

	Analisis TN (%) Konsentrasi 5000 mg/L																			
	Siklus 1			Siklus 2			Siklus 3			Siklus 4			Siklus 5			Aerobik	Aerobik + Anoksik	Denitrifikasi	Sel Anoksik	Anoksik
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14					
Reaktor SBR 1	0,00%	38,40%	74,24%	0,00%	55,64%	73,64%	0,00%	4,63%	75,78%	0,00%	47,80%	54,01%	0,00%	41,90%	49,42%	38,53%	71,73%	46,29%	43,42%	33,20%
Reaktor MBBR 1	0,00%	30,96%	74,44%	0,00%	32,07%	53,40%	0,00%	53,87%	87,57%	0,00%	32,71%	54,13%	0,00%	29,56%	42,20%	34,95%	71,45%	51,09%	45,67%	36,51%
Reaktor SBR 2	0,00%	25,20%	67,70%	0,00%	39,21%	74,99%	0,00%	23,37%	42,49%	0,00%	20,08%	74,20%	0,00%	17,38%	44,18%	25,87%	65,20%	60,31%	46,79%	39,32%
Reaktor MBBR 2	0,00%	28,39%	63,43%	0,00%	58,23%	84,82%	0,00%	-2,77%	2,11%	0,00%	0,75%	47,55%	0,00%	48,17%	71,57%	26,13%	57,08%	54,22%	39,67%	30,95%
Reaktor SBR 3	0,00%	39,80%	72,53%	0,00%	42,03%	57,48%	0,00%	0,79%	84,73%	0,00%	22,02%	38,81%	0,00%	14,43%	43,65%	31,20%	67,81%	53,99%	45,24%	36,61%
Reaktor MBBR 3	0,00%	47,25%	71,29%	0,00%	19,70%	39,92%	0,00%	20,76%	28,05%	0,00%	9,20%	21,26%	0,00%	30,57%	46,37%	34,23%	53,20%	35,66%	27,00%	18,97%
Reaktor SBR 4	0,00%	33,72%	75,41%	0,00%	51,87%	86,55%	0,00%	-4,14%	59,47%	0,00%	0,80%	6,52%	0,00%	-0,59%	41,10%	26,29%	66,88%	60,70%	52,24%	40,60%
Reaktor MBBR 4	0,00%	35,57%	68,83%	0,00%	53,62%	87,47%	0,00%	3,58%	27,66%	0,00%	31,73%	42,45%	0,00%	38,06%	50,75%	33,03%	61,45%	46,25%	40,61%	28,42%

### Analisis PV (*Permanganat Value*)

	Analisis COD (mg/L) Konsentrasi 5000 mg/L														
	Siklus 1			Siklus 2			Siklus 3			Siklus 4			Siklus 5		
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Reaktor SBR 1	2796,6	2607	2449	3017,8	2543,8	2480,6	2370	2054	1880,2	2370	2196,2	1627,4	2638,6	2392,12	2322,6
Reaktor MBBR 1	2717,6	2686	2212	2638,6	2543,8	2196,2	2717,6	2291	2148,8	2338,4	1801,2	1690,6	2449	2338,4	2180,4
Reaktor SBR 2	3507,6	3175,8	2923	2765	2607	2464,8	2670,2	2512,2	2243,6	2543,8	2101,4	1769,6	2370	2227,8	2148,8
Reaktor MBBR 2	3318	2986,2	2069,8	2765	2654,4	2607	2749,2	2717,6	2306,8	2259,4	2227,8	1832,8	2417,4	2464,8	2354,2
Reaktor SBR 3	3333,8	2970,4	2528	2859,8	2812,4	1753,8	2701,8	1690,6	1643,2	2243,6	2101,4	1785,4	2591,2	2354,2	2291
Reaktor MBBR 3	3460,2	2338,4	2227,8	2717,6	2701,8	2212	2591,2	1990,8	1722,2	2338,4	2164,6	1769,6	2938,8	1753,8	1390,4
Reaktor SBR 4	3175,8	3017,8	2401,6	3049,4	3002	2528	2338,4	1769,6	1611,6	2354,2	2148,8	1516,8	2322,6	2591,2	2385,8
Reaktor MBBR 4	2907,2	2670,2	2464,8	2543,8	2449	2433,2	2291	2142,48	1232,4	2322,6	2022,4	1169,2	2844	2196,2	2022,4

### Konversi Nilai PV ke COD

	Nilai COD (mg/L)														
	Konsentrasi COD 5000 mg/L														
	Siklus 1			Siklus 2			Siklus 3			Siklus 4			Siklus 5		
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Reaktor SBR 1	5750	5208	4750	4246	3571	3474	3335	2883	2633	3335	3083	2279	2000	1937	2000
Reaktor MBBR 1	5250	5023	4000	3761	3473	2867	3873	3128	2805	3333	2459	2207	2250	2013	1750
Reaktor SBR 2	4750	4459	4250	2601	2477	2365	2512	2387	2153	2393	1997	1698	1250	1106	1000
Reaktor MBBR 2	6000	6127	4750	3930	3973	4099	3907	4068	3627	3211	3334	2882	2500	2321	2000
Reaktor SBR 3	5500	4947	4250	4566	4195	2431	4314	2521	2278	3582	3134	2475	4000	3102	2500
Reaktor MBBR 3	5250	3873	4000	2986	3062	2582	2847	2256	2011	2570	2453	2066	2000	1070	750
Reaktor SBR 4	4750	5084	4500	4578	4603	3958	3511	2714	2523	3534	3295	2375	3500	3582	3000
Reaktor MBBR 4	4500	4233	4000	3310	3117	3027	2981	2727	1533	3023	2574	1455	3000	2109	1750

**Analisis MLSS (*Mix Liquor Suspended Solid*) dan Analisis MLVSS (*Mix Liquor Volatile Suspended Solid*)**

	Analsiis MLSS (mg/L) COD 5000 mg/L										MLVSS (mg/L) COD 5000 mg/L	
	Siklus 1		Siklus 1		Siklus 1		Siklus 4		Siklus 5		Siklus 1	Siklus 5
	0	2	3	5	6	8	9	11	12	14	0	12
Reaktor SBR 1	9311,741	2631,579	3061,224	1020,408	3148,936	3510,638	3617,021	1382,979	3092,784	3195,876	9195,6	2999,7
Reaktor MBBR 1	6097,561	2439,024	2857,143	989,011	4930,233	3953,488	4146,341	2804,878	3002,07	1863,354	5998,4	2899,6
Reaktor SBR 2	9696,97	2424,242	606,0606	1313,131	4255,319	3723,404	3297,872	2234,043	4610,656	1639,344	9595,2	4499,6
Reaktor MBBR 2	4848,485	1818,182	1818,182	1212,121	2735,043	3739,316	3723,404	2553,191	3756,345	3959,391	4798,4	3699,4
Reaktor SBR 3	4731,183	3440,86	1010,101	606,0606	2370,37	1269,841	4516,129	3010,753	1470,588	2521,008	4398,8	1399,5
Reaktor MBBR 3	3245,436	2839,757	1818,182	1111,111	3613,445	2205,882	4973,545	3280,423	3692,308	2871,795	3199,2	3599,6
Reaktor SBR 4	10322,58	1505,376	1212,121	2222,222	3559,322	3389,831	4680,851	2659,574	3045,685	1319,797	9596,4	2999,5
Reaktor MBBR 4	4048,583	5263,158	3232,323	3535,354	4680,851	4148,936	5212,766	2553,191	4873,096	3553,299	3999,2	4799,1

**Konversi nilai COD ke TOC (*Total Organic Compound*)**

	Nilai TOC (mg/L)															
	Konsentrasi COD 5000 mg/L															
	Siklus 1			Siklus 2			Siklus 3			Siklus 4			Siklus 5			
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
Reaktor SBR 1	2146	1944	1773	1585	1333	1297	1245	1076	983	1245	1151	851	746	723	746	
Reaktor MBBR 1	1960	1875	1493	1404	1296	1070	1446	1168	1047	1244	918	824	840	751	653	
Reaktor SBR 2	1773	1664	1586	971	925	883	938	891	804	893	745	634	467	413	373	
Reaktor MBBR 2	2239	2287	1773	1467	1483	1530	1458	1518	1354	1199	1245	1076	933	866	746	
Reaktor SBR 3	2053	1846	1586	1704	1566	907	1610	941	850	1337	1170	924	1493	1158	933	
Reaktor MBBR 3	1960	1446	1493	1115	1143	964	1063	842	750	959	916	771	746	399	280	
Reaktor SBR 4	1773	1898	1680	1709	1718	1477	1310	1013	942	1319	1230	886	1306	1337	1120	
Reaktor MBBR 4	1680	1580	1493	1236	1163	1130	1113	1018	572	1128	961	543	1120	787	653	

### Nilai Rasio C/N (TOC/TN)

	Nilai Rasio C/N														
	Konsentrasi COD 5000 mg/L														
	Siklus 1			Siklus 2			Siklus 3			Siklus 4			Siklus 5		
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Reaktor SBR 1	0,22	0,33	0,72	0,78	1,48	2,43	0,82	0,75	2,68	0,65	1,15	0,96	0,58	0,96	1,14
Reaktor MBBR 1	0,23	0,32	0,68	1,10	1,49	1,80	0,64	1,12	3,73	0,56	0,61	0,80	1,03	1,31	1,39
Reaktor SBR 2	0,20	0,25	0,55	0,49	0,78	1,80	0,34	0,42	0,51	0,39	0,41	1,07	1,30	1,40	1,87
Reaktor MBBR 2	0,25	0,36	0,54	0,56	1,35	3,84	0,71	0,72	0,67	0,67	0,70	1,15	1,13	2,02	3,18
Reaktor SBR 3	0,22	0,32	0,61	0,86	1,37	1,08	0,60	0,36	2,09	0,56	0,63	0,63	2,17	1,97	2,41
Reaktor MBBR 3	0,21	0,30	0,56	0,62	0,79	0,89	0,37	0,37	0,36	0,43	0,46	0,44	1,17	0,90	0,82
Reaktor SBR 4	0,19	0,31	0,74	0,73	1,53	4,70	0,47	0,35	0,83	0,76	0,72	0,55	2,11	2,14	3,07
Reaktor MBBR 4	0,19	0,27	0,53	0,59	1,19	4,28	0,52	0,49	0,37	0,43	0,54	0,36	2,09	2,37	2,48
Rata-rata		0,30	0,61		1,22	2,74		0,39	0,91		0,58	0,50		1,85	2,19
Rata-rata aerobik atau anoksik		0,87	1,39												

### Analisis pH, Alkalinitas dan Salinitas

	Konsentrasi COD 5000 mg/L					
	pH		Salinitas (ppt)		Alkalinitas (mg/L)	
	0	14	0	14	0	14
Reaktor SBR 1	8,38	8,29	2,42	2,37	90	110
Reaktor MBBR 1	8,85	8,35	2,65	2,25	40	100
Reaktor SBR 2	8,57	8,46	2,55	2,40	50	120
Reaktor MBBR 2	8,71	8,65	2,20	2,15	60	100
Reaktor SBR 3	8,94	8,63	2,86	2,79	90	140
Reaktor MBBR 3	8,54	8,13	2,48	2,33	70	100
Reaktor SBR 4	8,56	8,29	2,62	2,46	90	100
Reaktor MBBR 4	8,76	8,20	2,55	2,32	50	100

**Analisis BOD (*Biochemical Oxygen Demand*)**

	Konsentrasi COD 5000 mg/L									
	BOD <sub>5</sub> (mg/L)		COD (mg/L)				Rasio BOD/COD		F/M	
	0	14	0	2	12	14	0	14	1	14
<b>Reaktor SBR 1</b>	1354,994	131,930	5750	4750	2000	2000	0,236	0,066	0,147	0,044
<b>Reaktor MBBR 1</b>	1175,520	1108,800	5250	4000	2250	1750	0,224	0,493	0,196	0,382
<b>Reaktor SBR 2</b>	474,000	180,456	4750	4250	1250	2000	0,100	0,144	0,049	0,040
<b>Reaktor MBBR 2</b>	966,960	28,180	6000	4750	3500	2000	0,161	0,011	0,202	0,008
<b>Reaktor SBR 3</b>	466,416	84,864	5500	4250	4000	3500	0,085	0,021	0,106	0,061
<b>Reaktor MBBR 3</b>	235,104	118,408	5250	4000	2000	750	0,045	0,059	0,073	0,033
<b>Reaktor SBR 4</b>	789,684	454,886	4750	4500	3500	5000	0,166	0,130	0,082	0,152
<b>Reaktor MBBR 4</b>	1602,760	56,880	4500	4000	5000	1750	0,356	0,019	0,401	0,012

## LAMPIRAN D DOKUMENTASI PENELITIAN



(a)

Lokasi pengambilan sampel (a) Lindi



(b)

Lokasi pengambilan sampel (b) Lumpur



*Settleability Solid Test*



*SamplingReaktor*



Stok Lindi



Stok Lumpur





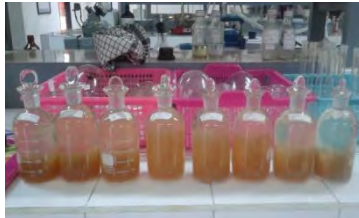
Analisis MLSS



Analisis Alkalinitas



Analisis COD



Analisis BOD



Analisis Nitrat



Analisis Ammonia



Analisis pH



Analisis Salinitas

## BIOGRAFI PENULIS



Penulis merupakan putri Kendari yang lahir pada 20 Agustus 1993. Penulis mengenyam pendidikan dasar pada tahun 1999-2005 di SDN 20 Kendari. Setelah itu, dilanjutkan di SMPN 1 Dramaga Bogor pada tahun 2005-2008 dan SMAN 5 Bogor pada tahun 2008-2011. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan S1 di Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, ITS Surabaya pada tahun 2011-2015 yang terdaftar dengan NRP 3311 100 108.

Selama masa perkuliahan, penulis aktif di dalam organisasi kemahasiswaan sebagai staf Departemen Dalam Negeri HMTL periode 2012/2013 dan menjadi Kepala Departemen Dalam Negeri HMTL periode 2013/2014. Selain itu, penulis juga aktif menjadi panitia di berbagai kegiatan HMTL maupun ITS dan aktif sebagai asisten praktikum di beberapa mata kuliah. Prestasi yang pernah diraih selama masa perkuliahan yaitu menjadi Juara 1 Lomba Karya Tulis Ilmiah Nasional *Civil Week* 2013 dan Juara 3 Lomba Karya Tulis Ilmiah Nasional *IES Summit* 2015. Penulis berkesempatan menjalankan Kerja Praktik di Badak LNG, Bontang untuk melakukan evaluasi kinerja *Rotating Biological Contactor* (RBC) di Unit 1 WWTP #48. Penulis dapat dihubungi via email [aljumriana@gmail.com](mailto:aljumriana@gmail.com).

**Halaman ini sengaja dikosongkan**